Az Ős meséje

Zarándoklat az élet hajnalához

Richard Dawkins
Yan Wong közreműködésével

PARTVONAL

John Maynard Smith (1920–2004)

még látta a levonatot, és kegyesen elfogadta az ajánlást,
amely mára sajnálatosan már csupán

In Memoriam

„Ne törődj az előadásokkal, se a »workshop«-okkal, egye meg a fene a buszkirándulásokat a helyi látnivalókhoz; felejtsd el az írásvetítőket és a rádiómikrofonokat; csak egyetlen dolog számít a konferencián, az, hogy John Maynard Smith megjelenjen, és legyen egy jó tágas, hangulatos bár. Ha nem ér rá a tervezett időpontban, akkor ütemezd át a konferenciát… Elbűvöli és elszórakoztatja a fiatal kutatókat, meghallgatja a történeteiket, bátorítja őket, újraéleszti lelkesedésük esetleg pislákoló lángját, és felvillanyozva, új erőre kapva küldi őket vissza laboratóriumaikba vagy sáros terepeikre, mert alig várják, hogy kipróbálják azokat az új eszméket, amelyeket ő nagylelkűen megosztott velük."

Nem csupán a konferenciák nem lesznek többé ugyanazok.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Anthony Cheetham, az Orion Books alapítója beszélt rá ennek a könyvnek a megírására. Az, hogy odébbállt, mielőtt a könyv megjelent volna, befejezésében való oktalan késedelmemnek tulajdonítható. Michael Dover humorral és kitartással tűrte a késedelmet, miközben azzal ösztönzött, hogy gyorsan és intelligensen tudomásul vette, mit is próbálok művelni. Jó döntései közül is az volt a legjobb, amikor szerkesztőnek Latha Menont fogadta fel. Akárcsak másik könyvem, az *A Devil's Chaplain* (Az Ördög káplánja) esetében, Latha segítsége szavakkal ki sem fejezhető. Képessége arra, hogy az átfogó képpel együtt megragadja a részleteket is, enciklopédikus tudása, a tudomány iránti rajongása, valamint a tudomány előmozdítása iránti önzetlen elkötelezettsége többet segített nekem és a könyvnek, semmint azt fel tudnám sorolni. Mások is sokat segítettek a kiadó részéről, de Jennie Condell és a tervező, Ken Wilson túllépték kötelességeik határát.

Kutatósegédem, Yan Wong a könyv tervezésének, kutatómunkájának és megírásának minden fázisában közvetlenül részt vett. Leleményességéhez és jártasságához a modern biológiában csak a számítógépek iránti született érzéke fogható. Ha itt hálásan vállalom a tanítvány szerepét, elmondhatjuk, hogy ő előbb volt a tanítványom, mint én neki, mert a tanára voltam a New College-ban. Később doktori értekezését Alan Grafen irányításával írta, aki egykor ugyancsak a diákom volt, úgyhogy Yant szerintem nevezhetjük unoka-diákomnak és diákomnak is. Tanítvány ide, mester oda, Yan hozzájárulása olyan tetemes volt, hogy bizonyos meséknél ragaszkodtam hozzá, hogy az ő neve is felkerüljön társszerzőként. Amikor Yan távozott, hogy átkerekezzen Patagónián, a könyv utolsó fázisában sokat köszönhet Sam Turvey kivételes zoológiai tudásának és e tudás lelkiismeretes kifejtésének.

Készségesen nyújtott számtalan tanácsot és segítséget Michael Yudkin, Mark Griffith, Steve Simpson, Angela Douglas, George McGavin, Jack Pettigrew, George Barlow, Colin Blakemore, John Mollon, Henry Bennet-Clark, Robin Elisabeth Cornwell, Lindell Bromham, Mark Sutton, Bethia Thomas, Eliza Howlett, Tom Kemp, Malgosia Nowak-Kemp, Richard Fortey, Derek Siveter, Alex Freeman, Nicky Warren, A. V. Grimstone, Alan Cooper és különösen Christine DeBlase-Ballstadt. A többiekről a könyv végén található *Jegyzetek*ben emlékezem meg.

Rendkívül hálás vagyok Mark Ridleynek és Peter Hollandnak, akiket a kiadó szakmai lektorálásra kért fel, és pontosan a kellő tanácsokkal láttak el. A fennmaradó fogyatékosságokat illető szokványos szerzői felelősségvállalás ezúttal a szokásosnál is inkább engem terhel.

Mint mindig, most is hálás köszönetem Charles Simonyi fantáziadús nagylelkűségéért. Feleségem, Lalla Ward ezúttal is segítőm és támaszom volt.

RICHARD DAWKINS

TARTALOM

AZ UTÓLAGOS BÖLCSESSÉG HIÚSÁGA 8
ÁLTALÁNOS BEVEZETŐ 16
INDUL A ZARÁNDOKLAT 27
A földműves meséje 28
A crô-magnoni meséje 34

0 AZ EGÉSZ EMBERISÉG 36
A tasmaniai meséje 39
Éva meséje 44
AZ ARCHAIKUS *HOMO SAPIENS* 56
A Neander-völgyi meséje 57
AZ ERGASTEREK 59
Az Ergaster meséje 63
HABILISEK 68
Az ezermester meséje 69
A MAJOMEMBER 77
Kisláb meséje 80
Utóhang Kisláb meséjéhez 84
1 CSIMPÁNZOK 88
A bonobó meséje 92
2 GORILLÁK 94
A gorilla meséje 95
3 ORANGUTÁNOK 98
Az orangután meséje 99
4 GIBBONOK 104
A gibbon meséje 107
5 ÓVILÁGI MAJMOK 118
6 ÚJVILÁGI MAJMOK 122
A bőgőmajom meséje 125
7 KOBOLDMAKIK 134
8 MAKIK, FÜLESMAKIK ÉS ROKONAIK 136
A véznaujjú maki meséje 140
A NAGY KRÉTA KORI KATASZTRÓFA 144
9 REPÜLŐMAKIK ÉS MÓKUSCICKÁNYOK 148
A repülőmaki meséje 150
10 RÁGCSÁLÓK ÉS NYÚLFÉLÉK 152
Az egér meséje 154
A hód meséje 157
11 A LAURÁZSIAIAK 162
A víziló meséje 165
Utóhang a víziló meséjéhez 170
A fóka meséje 171

12 VENDÉGÍZÜLETESEK 178
A tatu meséje 178
13 AZ AFRIKAIAK 182
14 ERSZÉNYESEK 188
Az erszényesvakondok meséje 191
15 TOJÁSRAKÓ EMLŐSÖK 194
A kacsacsőrű emlős meséje 196
Mit mondott a csillagorrú vakondok a kacsacsőrű emlősnek 204
EMLÖSSZERÜ HÜLLŐK 207
16 SAUROPSIDÁK 214
Előhang a galápagosi pinty meséjéhez 217
A galápagosi pinty meséje 220
A páva meséje 222
A dodó meséje 231
Az elefántmadár meséje 235
Utóhang az elefántmadár meséjéhez 242
17 KÉTÉLTŰEK 246
A szalamandra meséje 252
A szűkszájú meséje 261
Az axolotl meséje 263
18 TÜDŐS HALAK 268
A tüdős hal meséje 269
19 BOJTOSÚSZÓS HALAK 272
20 SUGARASÚSZÓJÚ HALAK 274
A kis cafranghal meséje 274
A csuka meséje 278
A kúszógéb meséje 279
A bölcsőszájú hal meséje 281
A barlangi vaklazac meséje 288
A lepényhal meséje 290
21 CÁPÁK ÉS ROKONAIK 292
22 INGOLÁK ÉS NYÁLKAHALAK 296
Az ingola meséje 299
23 LÁNDZSAHALAK 302
A lándzsahal meséje 303
24 TENGERI ZSÁKÁLLATOK 306
25 AMBULACRARIA 310
26 ŐSSZÁJÚAK 314
A százlábúféreg meséje 322
A levéllábú rák meséje 325
A levélvágó hangya meséje 328
A sáska meséje 330
A gyümölcslégy meséje 343
A kerekesféreg meséje 352
A kacslábú rák meséje 359
A bársonyféreg meséje 362
Utóhang a bársonyféreg meséjéhez 372
27 BÉLÜREG NÉLKÜLI LAPOSFÉRGEK 380
28 CSALÁNOZÓK 384
A medúza meséje 388
A korallpolip meséje 390
29 BORDÁS MEDÚZÁK 396
30 KORONGÁLLATKÁK 398
31 SZIVACSOK 400
A szivacs meséje 404
32 GALLÉROS OSTOROS SEJTEK 406
A galléros ostoros meséje 407
33 DRIP-ek 410
34 GOMBÁK 412
35 AMŐBAÁLLATOK 416
36 NÖVÉNYEK 418
A karfiol meséje 422
A vörösfenyő meséje 425
37 BIZONYTALAN 434
A *Mixotricha* meséje 439
A NAGY TÖRTÉNELMI TALÁLKOZÁS 445
38 ARCHAEA 448
39 EUBAKTÉRIUMOK 450
A *Rhizobium* meséje 450
A Taq meséje 459

CANTERBURY 464
A FOGADÓS HAZATÉR 482

TOVÁBBI OLVASMÁNYOK 507
JEGYZETEK 507
IRODALOM 510
MAGYAR NYELVŰ AJÁNLOTT IRODALOM
NÉV- ÉS TÁRGYMUTATÓ 516

Az utólagos bölcsesség hiúsága

„A történelem nem ismétli önmagát; de rímel."
MARK TWAIN

„A történelem ismétli önmagát; éppen ez az egyik baj vele."
CLARENCE DARROW

„Egyik istenverte esemény a másik után" – mondják a történelemről. A megjegyzésben két kísértéssel szembeni figyelmeztetést láthatunk, s bár tudomásul vettem az intést, mégis fejembe vettem, hogy mindkettővel kacérkodom. Először is, a történész arra érez kísértést, hogy a múltban ismétlődő minták után kutakodjék, vagy legalábbis – Mark Twain nyomán – hogy mindennek megtalálja okát és értelmét. A minta utáni eme étvágy sérti azokat, akik kitartanak amellett, hogy, miként azt Mark Twainnél ugyancsak olvashatjuk, „A történelem általában véletlen és zavaros ügy", amely nem tart sehová, és nem követ szabályokat. A második idevágó kísértés a jelen hiúsága: amikor a múltra úgy tekintünk, mintha a saját korunkra irányulna, mintha a történelmi színjáték szereplőinek más dolguk sem lett volna, mint hogy előrevetítsenek bennünket.

Olyan nevekkel fémjelezve, amelyekkel most szükségtelen vesződnünk, nagyon is eleven problémái ezek az emberi történelemnek, és az evolúció hosszabb időskáláján csak még erősebben és csöppet sem nagyobb egyetértéstől övezve vetődnek fel. Egyik istenverte faj a másik után – mondhatnánk akár az evolúciótörténetről. Ám sok biológus tartja velem együtt úgy, hogy ez bizony leegyszerűsített nézet. Tekintsünk csak így az evolúcióra, és lemaradunk a lényegről. Az evolúció rímel, a minták visszatérnek. És ez nemcsak azért történik, hogy így legyen, hanem nagyon is érthető okokból. Leginkább darwinista okokból persze, hiszen a biológia – ellentétben az emberi történelemmel, sőt a fizikával is – már rendelkezik a maga nagy egyesített elméletével, amelyet – bár eltérő változatokban és értelmezésben – valamennyi tájékozott művelője elfogad. Az evolúciótörténetről írva nem riadok vissza a minták és alapelvek keresésétől, de megpróbálok körültekintően eljárni.

No és mi a helyzet a második kísértéssel, az utólagos bölcsesség hiúságával, azzal az eszmével, miszerint a múlt egyében sem munkál, mint hogy megszülje a mi egyedi jelenünket? A boldogult Stephen Jay Gould helyesen mutatott rá, hogy az evolúciónak a népszerű mitológiában uralkodó képe, amely csaknem éppoly mindenütt felbukkanó karikatúra, mint a sziklákról leugró lemmingeké (amely mítosz ugyancsak hamis), a *Homo sapiens sapiens* délcegen lépdelő, méltóságteljes figurája a nyomában cammogó majomszerű ősök egyre emelkedő sorával: az ember mint az evolúció utolsó szava (és persze ebben az összefüggésben az ember mindig férfi, és nem nő); az ember, amelyre az egész vállalkozás irányul; az ember, mint mágnes, amely az evolúciót a múltból önnön magaslata felé vonzza.

Fizikuskörökben létezik egy talán ennél kevésbé feltűnően öntelt változat, amelyről illendő legalább futólag megemlékeznünk. Arról az „emberközpontú"

képzetről van itt szó, mely szerint maguk a fizikai törvények, illetve a világegyetem alapvető állandói gondosan kiszámított és behangolt trükkök, hogy végül az emberiséget létre segítsék. Mindez nem szükségszerűen hiúságra épül. Nem azt kell ezalatt értenünk, hogy a világegyetem kifejezetten azért készült, hogy mi létezhessünk. Csupán annyit jelent, hogy itt vagyunk, viszont nem létezhetnénk egy olyan világegyetemben, amelyből hiányzik a bennünket létrehozás képessége. A fizikusok rámutattak arra, hogy nem véletlenül látunk csillagokat az égen, mivel a csillagok szükségszerűen hozzátartoznak egy bennünket létrehozni képes világegyetemhez. Másfelől, ez nem jelenti azt, hogy a csillagok azért léteznek, hogy megalkossanak bennünket. Arról van szó csupán, hogy a csillagok nélkül a periódusos rendszerben nem lennének a lítiumnál nehezebb atomok, és egy mindössze három elemre épülő kémia túl szegényes lenne az élet létrejöttéhez. A látás az a fajta tevékenység, amelyre csakis egy olyan világegyetemben kerülhet sor, ahol csillagokat látunk.

Ennél azért valamivel többet kell mondanunk. Azt a magától értetődő tényt adottnak véve, hogy ittlétünk bennünket létrehozni képes fizikai törvényeket és állandókat igényel, továbbra is kínzóan valószínűtlennek tűnhet az ilyen hathatós alaptörvények léte. Alapfeltevéseik függvényében a fizikusok úgy vélik, hogy a lehetséges világegyetemek halmaza jóval nagyobb, mint azé a részhalmazé, amelynek törvényei és állandói megengedték, hogy a fizika a csillagok közvetítésével kémiává, a kémia a bolygók útján biológiává érlelődjék. Némelyek számára ez azt jelenti, hogy a törvényeknek és állandóknak kezdettől fogva előre meghatározottnak kellett lenniük (jóllehet zavarba ejt, miért tekintik ezt egyesek bármire is magyarázatnak, tekintve, hogy a problematika oly gyorsan visszatér ahhoz a még nagyobb problémához, hogy magyarázatot adjunk az éppoly finoman hangolt és valószínűtlen Előre Meghatározónak a létére).

Más fizikusok kevésbé bizonyosak abban, hogy a törvények és állandók először is szabadon variálódhattak. Kiskoromban nem volt világos előttem, miért kell az ötször nyolcnak ugyanazzal az eredménnyel járnia, mint a nyolcszor ötnek. Úgy fogadtam el, mint a felnőttek bizonygatta többi tényt. Csak később értettem meg, talán a téglalapok képének felidézésével, hogy az ilyen szorzópárok miért nem variálódhatnak egymástól függetlenül, szabadon. Tudomásul vettük, hogy a kör kerülete és átmérője nem függetlenek egymástól, különben lehetséges világegyetemek özönének feltételezésére csábulhatnánk, amelyek mindegyikében más a π értéke. Talán – érvel néhány fizikus, köztük a Nobel-díjas elméleti fizikus, Steven Weinberg – a világegyetem alapvető állandói, amelyeket jelenleg egymástól függetlenekként kezelünk, megérthetők egy valamilyen Nagy Egyesített elméletben, amely jóval kisebb fokú szabadságot engedélyezne, mint azt ma képzeljük. Ez bizony alátámasztaná az antropikus egybeesés tüneményét.

Más fizikusok, köztük Sir Martin Rees, a Királyi Csillagász cím jelenlegi birtokosa, elfogadják, hogy létezik magyarázatra szoruló valódi egybeesés, amelyet ő úgy magyaráz, hogy számos, párhuzamosan létező, egymástól elzárt, tényleges világegyetemet feltételez, melyek mindegyikének megvan a maga saját törvény- és állandókészlete.* Nekünk, akik azon kapjuk magunkat, hogy efféle dolgokon elmélkedünk, nyilván egy olyan világegyetemben kell lennünk, lett légyen ez bármily ritkaság is, amelynek törvényei és állandói képesek megformálni bennünket.

* Ezt a „sok világegyetem" (multiverzum-) elméletet ne keverjük össze (bár gyakran megteszik) Hugh Everett kvantumelméleti „sok világ" értelmezésével, amely mellett oly ragyogóan érvel David Deutsch a *The Fabric of Reality* (A valóság szövete) című művében. A két elmélet közti hasonlóság felszínes és értelmetlen. Lehet mindkét elmélet igaz, vagy akár egyik sem, esetleg az egyik igen, a másik nem. Teljesen más problémák magyarázatául szánták őket. Everett elméletében a különböző világegyetemek alapvető állandói nem eltérőek. Ám az általunk vizsgált elméletnek éppen az a lényege, hogy különböző világegyetemek különböző alapvető állandókkal bírnak.

Lee Smolin elméleti fizikus igazi darwinista fordulatot adott mindehhez, amely csökkenti létezésünk látszólagos statisztikai valószínűtlenségét. Smolin modelljében a világegyetem törvényeikben és állandóikban egymástól eltérő leány-világegyetemeknek adott életet. A leány-világegyetemek a szülő-világegyetem által teremtett fekete lyukakban születnek, öröklik annak törvényeit és állandóit, de lehetőség van véletlenszerű apró változásokra – „mutációkra" is. Azok a leány-világegyetemek, amelyeknek módjukban áll szaporodni (például elég sokáig fennállnak ahhoz, hogy fekete lyukakat hozzanak létre), természetesen azok a világegyetemek, amelyek törvényeiket és állandóikat leányaiknak továbbadják. A csillagok a fekete lyukak előfutárai, amelyek Smolin modelljében születési események. Ebben a kozmikus darwinizmusban tehát a csillagképzésre képes világegyetemek a kedvezményezettek. Valamely világegyetem azon tulajdonságai, amelyek ezt az ajándékot adják a jövőnek, éppen azok a tulajdonságok, amelyek esetleg a nagy atomok – köztük a döntő fontosságú szénatomok – kialakulásához vezetnek. Nem csak mi élünk az élet létrehozására képes világegyetemben. Világegyetemek egymást követő nemzedékei fokozatosan fejlődnek egyre inkább olyan világegyetemmé, amely mellékterméknek képes az élet létrehozására.

Smolin elméletének logikája nyilván tetszetős egy darwinistának, ahogy bárkinek, aki eleven fantáziával bír, ám a fizikáját nem vagyok hivatott megítélni. Nem találok olyan fizikust, aki teljesen elhibázottnak tartaná az elméletet – a legnegatívabb, amit mondanak rá, hogy felületes. Némelyek, miként láttuk, egy végső elméletről álmodoznak, melynek fényében a világegyetem finomhangolása valamiképp káprázatnak bizonyul. Ismereteink szerint semmi sem zárja ki Smolin elméletét, és ő az igazolhatóság érdemét is vindikálja tanának (amit a tudósok jóval többre értékelnek, mint azt sok laikus gondolja). Ajánlom könyvét, a *The Life of the Cosmost* (A kozmosz élete).

Mindez azonban az utólagos bölcsesség fizikusi hiúságáról szóló kitérő volt. A biológusi változat Darwin óta jóval könnyebben elutasítható, bár annál nehezebben ment előtte, s minket most ez érdekel. A biológiai evolúciónak nincs kitüntetett leszármazási vonala, miként kijelölt vége sem. Az evolúció sok millió közbenső végpontra ért (amit a megfigyelés időpontjában élő fajok száma jelez), és a hiúságon, történetesen az emberi hiúságon kívül – hiszen mi vagyunk a beszélők – semmi oka, hogy az egyiket kiváltságosabbnak vagy kiemelkedőbbnek tekintsük a másiknál.

Ez nem jelenti azt – miként a továbbiakban kifejtem –, hogy az evolúciótörténet teljességgel ok és értelem híján lenne. Vallom, hogy vannak visszatérő minták. Azt is vallom – bár ez ma már ellentmondásosabb, mint egykor –, hogy bizonyos értelemben az evolúció célirányosnak, haladónak, sőt megjósolhatónak mondható. A fejlődés azonban nyomatékosan nem az emberiség felé való haladással egyenlő, és a megjósolhatóság fogalmával is csínján és nem túl hízelgő értelemben szabad bánnunk. A történésznek óvakodnia kell attól, hogy olyan elbeszélést fűzzön össze, amely akár a legkisebb mértékben is azt a látszatot kelti, hogy az emberi csúcspont felé irányul.

Jó példa az egyik könyvem (egy alapvetően jó könyv, úgyhogy nem nevezem meg és hozom hírbe). A mű összehasonlítja a *Homo habilis*t (egy valószínűleg ősünknek tekinthető emberfajt) elődjével, az *Australopithecus*-félékkel*. A könyv szerint a *Homo habilis* „lényegesen fejlettebb volt az *Australopithecus*-féléknél". Sok-

* A zoológiai névadás szigorú elsőbbségi jogot követ, így félek, nincs remény az *Australopithecus* nevet feleserélni a klasszikus oktatásból kimaradt kortárs többség számára valami kevésbé zavarba ejtőre. A névnek semmi köze Ausztráliához. A faj egyetlen egyedét sem találták meg Afrikán kívül. Az *Australo* egyszerűen annyit tesz: 'déli'. Ausztrália a nagy déli kontinens, az Aurora australis a déli megfelelője az Aurora borealisnak (a borealis annyit jelent: 'északi'), az *Australopithecus*ra pedig a taungi fiú személyében először Afrika déli részén bukkantak rá.

kal fejlettebb? Mi mást jelenthet ez, mint hogy az evolúció valamiféle előre kijelölt irányba tart? A könyv nem hagy kétséget bennünk afelől, mi is ez a feltételezett irány. „Szembeötlők az áll első jelei." Az „első" arra bátorít bennünket, hogy második és harmadik jelekre is számítsunk a „teljes" emberi áll felé vezető úton. „A fogak kezdenek hasonlítani a mieinkhez..." Mintha azok a fogak nem azért lettek volna olyanok, amilyenek, mert illeszkedtek a Habilis étrendjéhez, hanem mert ráléptek a mi fogainkhoz vezető útra. A fejezet egy kihalt emberfajról, a *Homo erectus*ról szóló árulkodó megjegyzéssel végződik:

> Bár arcuk továbbra is különbözik a miénktől, tekintetük már sokkal emberibb. Olyanok, mint a készülőfélben lévő, „befejezetlen" szobrok.

Készülőfélben lévő? Befejezetlen? Csak ha az utólagos bölcsesség korlátoltságával nézzük. A könyv mentségére felhozva tán igaz, hogy ha szemtől szembe találkoznánk egy *Homo erectus*szal, éppenséggel egy félkész, befejezetlen szobornak is tűnhetne szemünkben. Egy élőlény mindenkor azzal foglalatoskodik, hogy saját környezetében fennmaradjon. Soha nem befejezetlen – vagy éppen ellenkezőleg –, örökké befejezetlen. Miként feltehetően mi is.

Az utólagos bölcsesség hiúsága történelmünk más állomásain is csábít bennünket. Emberi szemszögünkből az, amikor távoli hal-ősünk a vízből a szárazföldre merészkedett, jelentős lépés, az átmenet forradalmi rítusa volt. A devon időszakban vállalkozott erre a mai tüdős halra némileg hasonló izmosúszójú hal. A korszak kövületeit bocsánatos vágyakozással nézzük, hogy elődeinkként tekinthessünk rájuk, és erre az elkövetkezendők tudata is csábít. Ez vesz rá bennünket arra, hogy ezekben a devoni halakban a szárazföldi állattá válás „félútját" lássuk; minden komolyan átmeneti rajtuk, készen rá, hogy nekirugaszkodjanak a szárazföld elözönlésének és a következő nagy evolúciós szakasz hősies vállalkozásának. Nem így volt ez akkoriban. Azoknak a devoni halaknak a mindennapi betevőt kellett megkeresniük. Nem fejlődési küldetést teljesítettek, nem a távoli jövőt kutatták. Egy másik, a gerincesekről szóló kiváló könyvben az alábbi mondat szerepel a halakról, amelyek

> a devon időszak végén kimerészkedtek a vízből a szárazföldre, és amikor az első kétéltűekké váltak, úgyszólván átugrották az egyik gerinces osztály és a másik közti szakadékot...

A „szakadékot" az utólagos bölcsesség mondatja. Semmiféle szakadék nem volt akkoriban, és amit ma „osztályokként" ismerünk, nem különültek el jobban, mint két faj. Miként majd látni fogjuk, az evolúció nem szokott szakadékokat átugrálni.

Nincs több értelme (de kevesebb sem) annak, ha történetírásunk főhősének a *Homo sapiens*t tesszük meg, mint ha valamely másik modern fajt – mondjuk az *Octopus vulgaris*t, a *Panthera leo*t vagy a *Sequoia sempervirens*t – választanánk. Egy történelmi szemlélettel bíró sarlósfecske, érthetően büszkén a repülésre, mint amely magától értetődően az élet legfontosabb teljesítménye, a fecskenépet – ezeket a hátranyilazott szárnyú repülő gépeket, amelyek egyszerre egy évig is a magasban tartózkodnak, sőt még a párzásra is repülés közben kerítenek sort – tekintené az evolúciós fejlődés csúcspontjának. Steven Pinker képzetével élve, ha az elefántok történelmet írnának, talán úgy mutatnák be a tapírokat, az elefántcickányokat, az elefántfókákat és az ormányos majmokat, mint az evolúció fő útvonalán az első botladozó

lépésekkel próbálkozó kezdőket, akiknek valami oknál fogva sohasem sikerül igazán: oly közel, s mégis oly távol. Az elefánt csillagászok azon tipródnának, vajon egy másik világban léteznek-e olyan idegen életformák, amelyek átkeltek a nazális Rubiconon, és elvégezték az utolsó ugrást a teljes ormányosságba.

Mi nem vagyunk sem sarlósfecskék, sem elefántok, hanem emberek. Amint képzeletben valamely rég letűnt korszakban vándorlunk, emberien természetes, hogy különleges melegséggel és kíváncsisággal fordulunk azon ősi táj minden, különben mégoly közönséges faja felé is, amely az ősünk (bosszantóan szokatlan gondolat, hogy mindig van egy olyan faj). Nehéz letagadni azt az emberi kísértést, hogy ebben az egy fajban ne az evolúció „fő vonulatát", a többiekben viszont ne a stábot, a statisztákat, a beugrókat lássuk. Anélkül hogy behódolnánk ennek a tévedésnek, egyféleképp adhatjuk át magunkat a jogos emberközpontúságnak úgy, hogy közben betartsuk a történelmi korrektséget. Ez pedig az, ha történelmünket fordított irányban bontjuk ki. Ezen az úton jár ez a könyv is.

Az ősöket keresve a fordított időrend érthető módon célozhat meg valamely távoli célpontot. A távoli célpont pedig nem más, mint az egész élet őse, és nem tehetünk mást, mint hogy ráirányulunk, mindegy, honnan kezdjük – az elefánttól vagy a sastól, a sarlósfecskétől vagy a szalmonellától, a mamutfenyőtől vagy a nőtől. A fordított és az egyenes időrend egyaránt megteszi, csak éppen ellentétes célra. Menj csak visszafelé, és bárhonnét indulsz is ki, az élet egységének ünneplésénél kötsz ki. Haladj előre, és a változatosságot magasztalod. Így van ez a kis időléptékben éppúgy, mint a nagyban. Az emlősök előrehaladó kronológiája hatalmas, mégis korlátozott időskáláján belül a szétágazó változatosság története, mely e szőrös, meleg vérű csoport gazdagságát mutatja be. A fordított időrend – bármely mai emlőst vesszük is kiindulópontul – mindig ugyanabba a furcsa ősemlősbe torkollik: a dinoszauruszoknak homályba burkolózó, rovarevő, éjszakai kortársába. Ezt hívják lokális konvergenciának. Egy még lokálisabb pedig valamennyi mai rágcsáló legutóbbi ősébe torkollik, amely valamikor a dinoszauruszok kihalásának idején élt. Még ennél is lokálisabb jellegű az összes emberszabású majom (beleértve az emberféléket is) fordított konvergenciája abba a közös ősükbe, amely mintegy 18 millió évvel ezelőtt élt. Tágabb skálán összehasonlítható konvergenciákat találhatunk, ha megindulunk bármely gerincestől visszafelé, és még ennél is nagyobb konvergencia működik visszafelé bármely állattól az összes állat őse felé. A legnagyobb konvergencia messze ragad bennünket valamennyi mai lénytől – állattól, növénytől, gombától vagy baktériumtól –, vissza valamennyi létező organizmus egyetemes elődjéhez, amely talán valamiféle baktériumhoz hasonlított.

Az előző bekezdésben a *konvergencia* szóval éltem, holott igazából teljesen más értelemben tartogatom az egyenes időrend számára. Így hát a jelenlegi célra az „összefutással", vagy majd egy bizonyos pillanatban érthetővé váló oknál fogva a „találkozással" helyettesítem. Használhattam volna az „egyesülést" is, eltekintve attól, hogy – miként látni fogjuk – a genetika, hasonlóan az én „összefutásomhoz", már egy sokkal pontosabb értelemben – jóllehet inkább a génekre, semmint a fajokra koncentrálva – már kisajátította. A fordított időrendben végül bármely fajcsoport ősei találkoznak egy bizonyos geológiai pillanatban. Találkozóhelyük valójában valamennyi utolsó közös ős, az, akit én „köz-ősnek"* nevezek; ő, mondjuk, a gyújtóponti rágcsáló, emlős vagy gerinces. A legrégebbi köz-ős valamennyi létező élet ősszülője.

* Hálás vagyok Nicky Warrennek a „concestor" szóért.

Teljesen biztosra vehetjük, hogy egyetlen köz-őse volt a bolygónkon fennmaradt mindenféle életnek. Ennek bizonyítéka, hogy mindannak, amit valaha is megvizsgáltak, ugyanaz a génkódja (a legtöbb esetben pontosan ugyanaz, a többiben csaknem ugyanaz). Márpedig a genetikai kód összetettségéből adódó minden esetlegessége mellett is túl bonyolult ahhoz, hogy kétszer feltalálják. Bár nem minden fajt vizsgáltak meg, mégis éppen elég áttekintéssel rendelkezünk ahhoz, hogy szinte biztosra vegyük – hála istennek –, hogy meglepetések nem várnak ránk. Ha most egy olyan életforma felfedezése előtt állnánk, amely elégé idegen ahhoz, hogy teljesen más genetikai kódja legyen, ez lenne a legizgalmasabb biológiai felfedezés, amióta az eszemet tudom, akár ezen a bolygón él, akár másikon. A dolgok mai állása szerint úgy tűnik, valamennyi ismert életforma egyetlen ősig követhető vissza, amely több mint 3 milliárd éve élt. Ha volt más, ettől eltérő eredetű élet, akkor utána nem maradt fenn általunk felfedezett leszármazott. Ha pedig újak keletkeznének ma, gyorsan elemésztenék őket – vélhetően a baktériumok.

Valamennyi fennmaradt élet nagy összefutása nem azonos magának az életnek az eredetével. Ez azért van így, mert valamennyi fennmaradt fajnak feltehetően egyetlen közőse volt, aki az élet eredete után élt: minden egyéb valószínűtlen véletlen lenne, mivel arra utalna, hogy az eredeti életforma *azonnal* elágazott, és több mint egy ága él tovább máig. A jelenlegi ortodox tankönyvek a legrégibb bakteriális kövületeket 3,5 milliárd évvel ezelőttre keltezik, így az élet eredetének ennél mindenképpen korábbinak kell lennie. Ha elfogadunk egy közelmúltbeli felvetést* ezekről a nyilván ősi kövületekről, akkor az élet eredetének keltezése esetleg valamivel közelebb esne hozzánk. A nagy összefutás – valamennyi túlélő lény legutóbbi közös őse – megelőzhetné a legrégibb kövületeket (mert nem kövesedtek meg), vagy esetleg egymilliárd évvel később élhetett (a többi leszármazási ág egy kivételével kihalt).

Tekintve, hogy valamennyi fordított időrend, bárhonnét induljon is, egyetlen nagy összefutásban kulminál, joggal bocsáthatjuk meg emberi elfogultságunkat, és koncentrálunk saját őseink egyedi vonalára. Ahelyett hogy az evolúciót ránk irányulóként fognánk fel, a *Homo sapiens*t inkább egy fordított időrend önkényes, de megbocsáthatóan előnyben részesített kezdőpontjául *választjuk*. Minden múltba vezető út közül ezt az utat választjuk, hiszen saját ősszüleinkre vagyunk kíváncsiak. Ugyanakkor, bár nem szükséges részletekbe menően követnünk őket, nem fogjuk elfelejteni, hogy vannak egyéb történészek is, más fajokhoz tartozó állatok és növények, amelyek tőlünk függetlenül maguk is visszafelé bandukolnak saját kiindulópontjuktól, másik zarándokutakon, hogy felkeressék saját őseiket, köztük esetleg azokat is, akiken velünk osztoznak. Ha végigjárjuk saját őseink lépteit, elkerülhetetlenül összefutunk ezekkel a másféle zarándokokkal, és megszabott rendben egyesítjük erőinket, abban a rendben, amelyben leszármazási vonalaik találkoznak a mieinkkel: az egyre táguló rokonság rendjében.

Zarándoklat? Egyesíteni erőinket a zarándokokéval? Igen, miért is ne? A zarándoklat éppen megfelelő hasonlat a múltba vezető utazásunkra. Ez a könyv a jelenből a múltba vezető zarándoklatról szóló beszámoló formáját ölti. Valamennyi út az élet eredetéhez vezet. Ám mivel emberek vagyunk, az általunk követett út saját őseinké lesz. Útközben köszöntünk majd más zarándokokat, akik szigorúan megszabott sorrendben társulnak hozzánk, míg elérjük azt a közös őst, akin együtt osztozunk velük.

* J. W. Schopf sokat vitatott 3,5 milliárd éves baktériumának bizonyítékát élesen bírálta oxfordi kollégám, Martin Brasier. Meglehet, Brasiernek igaza van Schopf bizonyítékát illetően, de épp e könyv korrektúrázása idején jelent meg egy új bizonyítékról szóló közlemény, amely újból visszaállíthatja a 3,5 milliárd évet a legrégibb kövületek időpontjaként. Harald Furnes norvég tudós és munkatársai Dél-Afrikában e korból származó vulkanikus üvegben olyan apró lyukakat találtak, amelyeket véleményük szerint mikroorganizmusok vájtak ki. Ezek az „odúk" szenet tartalmaznak, amely a felfedezők szerint biológiai eredetű. Maguknak a mikroorganizmusoknak nem maradt nyomuk.

Az első zarándoktársak, amelyeket mintegy 5 millió évvel ezelőtt üdvözlünk Afrika mélyén, Stanley és Livingstone emlékezetes kézfogásának helyszínén, a csimpánzok lesznek. A csimpánz és bonobó zarándokok már „azelőtt" összefogtak egymással, hogy üdvözöltük őket. Egyébként van itt egy kis nyelvészeti trükközés, amivel még az elején szembe kell néznem, mielőtt tovább kísértene. Az „azelőtt"-töt idézőjelbe tettem, mivel zavaró lehet. Visszamenőleges értelemben használtam „előtt"-ként, mint amely a múltba vezető zarándoklat során történt „előbb". Holott időrendi értelemben természetesen *után* jelent, vagyis pontosan ellentétes jelentésű! Az a gyanúm, hogy ettől az esettől egyetlen olvasóm sem fog zavarba jönni, de lesznek majd más példák, amelyek próbára teszik az olvasó türelmét. A könyv írása közben megpróbáltam azzal kísérletezni, hogy egy új, a fordított történetírás sajátos igényeihez szabott elöljárószót alkossak, de nem ment. Ehelyett az idézőjelbe tett „előtt" egyezményes megoldásához folyamodom. Amikor „előtt"-ről olvasunk, ne feledjük, hogy ez igazából után-t jelent! Amikor viszont előtt-öt látunk, ez valóban azt is jelenti. És *mutatis mutandis,* ugyanez érvényes az „után"-ra és az után-ra is.

A következő zarándokok, amelyekkel visszautunk során találkozunk, a gorillák lesznek, aztán az orangutánok (jóval távolibb múltban, és talán már nem Afrikában). Ezután üdvözöljük majd a gibbonokat, az óvilági majmokat, aztán az újvilági majmokat, majd különböző egyéb emlőscsoportokat... és így tovább, míg végül az élet valamennyi zarándoka együtt lépdel most már maga az élet eredetéhez visszavezető egyetlen ösvényen. Ahogy haladunk visszafelé, elérkezik az idő, amikor nem lesz értelme megnevezni azt a kontinenst, ahol a találkozásra sor kerül: a világtérkép a lemeztektonika figyelemre méltó fejleményei folytán annyira más képet nyújtott. És még távolabb jutva valamennyi találkozásra a tengerben kerül sor.

Eléggé meglepő, hogy mi, emberi zarándokok mindössze mintegy 40 találkozóhelyet érintünk, mielőtt eljutunk magának az életnek az eredetéhez. A 40 állomás mindegyikén találunk egy bizonyos közös őst, a köz-őst, aki a találkozás azonosító számát viseli majd. Például a 2. köz-ős, akivel a 2. találkozás alkalmával találkozunk, a legutóbbi közös őse egyfelől a gorilláknak, másfelől az {embereknek + {csimpánzoknak + bonobóknak}}. A 3. köz-ős a legutóbbi közös őse az orangutánoknak és az {{embereknek + {csimpánzoknak + bonobóknak}} + gorilláknak}. A 39. köz-ős az őse valamennyi fennmaradt életformának. A 0. köz-ős különleges eset, lévén valamennyi élő ember legutóbbi őse.

Zarándokok leszünk tehát, és zarándoktársulatok egyre bővülőbb köréhez társulunk, akik maguk is ott hömpölygnek saját útjukon, hogy találkozzanak velünk. Minden találkozót követően együtt haladunk tovább a fő útvonalon vissza közös őskori célunkhoz, a mi Canterburynkbe. Vannak persze más irodalmi utalások is, úgyhogy mintául csaknem Bunyant választottam, a könyvnek pedig kis híján *A zarándok visszaútja* címet adtam. Ám kutatósegédemmel, Yan Wonggal folytatott beszélgetéseink során folyton Chaucerhez, a *Canterbury mesék*hez tértünk vissza, és egyre természetesebbnek tűnt, hogy Chaucerre gondolunk a könyv írása közben.

Chaucer zarándokainak többségével ellentétben a mieink nem együtt kelnek útra, bár azonos időpontban, a jelenben kerekednek fel. A mi zarándokaink más-más kiindulópontból célozzák meg ősi Canterburyjüket, hogy aztán útközben különböző találkozóhelyeken csatlakozzanak a mi emberi zarándoklatunkhoz. Ebben a tekintetben az én zarándokaim nem hasonlítanak azokhoz, akik összegyűltek a

londoni Tabard fogadóban. Az enyémek inkább ahhoz a sötét lelkű kanonokhoz és érthető okból hűtlen szabadosához hasonlítanak, akik Boughton-under-Bleenél, Canterburytől ötmérföldnyire csatlakoztak Chaucer zarándokaihoz.

Chaucer nyomán zarándokaimnak, amelyek mind az élőlények különféle fajainak felelnek meg, Canterburyjükbe vezető úton, ami nem más, mint az élet eredete, alkalmuk adódik a mesemondásra. A könyv magvát ezek a mesék alkotják.

A holtak nem mesélnek, és a trilobitákhoz hasonló lényeket nem tartjuk mesemondásra képes zarándokoknak, ám két különleges esetben mégis kivételt teszek. A dodóhoz hasonló állatokat, amelyek a történelmi időkig fennmaradtak, és amelyek DNS-éhez még hozzá tudunk férni, a modern fauna olyan tiszteletbeli tagjainak tekintjük, amelyek velünk egy időben indultak a zarándoklatra, hogy bizonyos találkozóhelyeken összefussanak velünk. Mivel mi felelünk közelmúltbeli kihalásukért, ez a legkevesebb, amit tehetünk. A holtak nem mesélnek szabály alól kivételt képező másik tiszteletbeli zarándokok valóságos emberek. Mivel mi, ember zarándokok közvetlenül saját őseinket keressük, az olyan kövületeket, amelyek jó eséllyel pályázhatnak arra, hogy tényleg őseinknek tekintsük őket, a mi emberi zarándoklatunkhoz soroljuk, és meghallgatjuk majd ezen „árnyékzarándokok" némelyikének a meséjét, így például a *Homo habilisét*, az Ügyes Emberét. Úgy ítéltem, finomkodásnak hatna, ha állat és növény mesemondóimat egyes szám első személyben beszéltetném, így hát nem is ekként járok el. Az alkalmi kitérők és az előzetes megjegyzések kivételével Chaucer zarándokai sem így tesznek. Chaucer sok meséjének van saját bevezetője, sőt még utóhangja is, melyek mindegyike a zarándoklat narrátorának, Chaucernek a saját hangján szólal meg. Időnként követni fogom a példáját. Akárcsak Chaucernél, az utóhang hídként szolgál egyik és a másik mese közt.

Mielőtt mesélésbe fogna, Chaucer egy terjedelmes általános bevezetőben mutatja be a szereposztást: megadja a fogadóból útnak indulni készülő zarándokok foglalkozását, sőt némely esetben nevét is. Ehelyett én akkor mutatom be az új zarándokokat, amikor hozzánk csapódnak. Chaucer joviális fogadósa felajánlja, hogy vezeti a zarándokokat, és útközben mesélésre biztatja őket. Vendéglátói szerepkörömben az *Általános bevezetőt* arra használom, hogy néhány előzetes megjegyzést tegyek az evolúciótörténet rekonstruálásának módszereiről és problémáiról, amelyekkel akkor is szembe kell néznünk, ha akár visszafelé vagy előrefelé haladunk történetünkben.

Aztán felkerekedünk visszautunkra a történelembe. Bár saját őseinkre összpontosítunk, s általában csak akkor vesszük észre a többi lényt, amikor hozzánk csapódnak, időnként mégis felpillantunk az útról, és emlékezetünkbe idézzük, hogy más zarándokok is járják a maguk többé-kevésbé független útját végcélunk felé. Számozott találkozás-mérföldkövek és az időrend megerősítéséhez szükséges közbülső útjelző táblák jelölik ki utunkat. Mindegyik mérföldkő új fejezetet jelez, ahol megállunk, hogy számot vessünk zarándoklatunkkal, és esetleg meghallgassunk egy-két mesét. Időnként valami jelentőségteljes történik a környező világban, és ekkor zarándokaink rövid pihenőt tartanak, hogy elgondolkodjanak a történteken. Ám az élet hajnalához vezető utunkat többnyire az a bizonyos 40 természetes mérföldkő, vagyis a zarándoklatunkat gazdagító találkozások jelzik majd.

Általános bevezető

Hogyan ismerjük meg a múltat, és hogyan datáljuk? Mi segíti látásunkat, hogy bekukkanthassunk az ősi élet színházaiba, hogy újjáteremtsük a régmúlt színpadokat, színészeket, fellépéseiket és letűnéseiket? A megszokott emberi történetírás három fő módszert ismer, amelyeknek az evolúció nagyobb időskáláján is megtaláljuk a megfelelőit. Először is, itt van a csontokat, nyílhegyeket, cseréptöredékeket, osztrigahéjszemétdombokat, dísztárgyakat és egyéb, a múltból szilárd bizonyítékként fennmaradt relikviákat tanulmányozó *régészet*. Az evolúciótörténetben a legnyilvánvalóbb tárgyi maradványok a csontok, a fogak és a kövületek, amelyekké ezek végül válnak. Másfelől, itt vannak a *megújított relikviák*, azok az emlékek, amelyek önmagukban nem régiek, de tartalmazzák vagy megtestesítik egy-egy másolatát vagy ismertetését annak, ami régi. Az emberi történelemben ezek az írott vagy szóbeli beszámolók, amelyek a múltból hagyományozódással, ismétléssel, újranyomtatással vagy egyéb módon sokszorosítva maradtak a jelenre. Az evolúcióban a DNS-t nevezem a fő megújított relikviának, a lejegyzett vagy átmásolt beszámoló megfelelőjének. Harmadikként pedig itt van a *háromszögelés*. A név a szögekkel történő távolságmérés módszeréből származik. Tájoljunk be egy célpontot, majd oldalirányba lépjünk le egy meghatározott távolságot, és tájoljuk be a célt újra. A két szög metszetéből számítsuk ki a célpont távolságát. Erre az elvre épül némely optikai távolságmérő, és hagyományosan a térképészek is erre támaszkodtak. Azt mondhatnók, hogy az evolucionisták két (vagy több) fennmaradt utódjából „háromszögeznek" egy őst. A tárgyi emlékekkel, elsősorban a kövületekkel kezdve most sorra veszem a háromféle módszert.

Kövületek

Ha a testek vagy csontok elkerülik a hiénák, temetőbogarak és baktériumok figyelmét, akkor van esély rá, hogy mi is megfigyelhetjük őket. Az olaszországi Tirol „Jégembere" 5000 éven át megőrződött a gleccserben. A rovarokat 100 millió évre tartósíthatja a borostyán (megkövült famézga). A jég vagy a borostyán jótékony hatása híján a kemény részeknek van a legtöbb esélyük a fennmaradásra, a fogaknak, a csontoknak és a héjaknak. A fogak mindegyiknél tartósabbak, mert ahhoz, hogy betölthessék szerepüket az életben, keményebbnek kell lenniük mindennél, amit gazdájuk vélhetően elfogyaszt. A csontoknak és héjaknak más miatt kell keménynek lenniük, de ezek is sokáig fennmaradnak. Az ilyen kemény részek, és kivételes körülmények közt a puha részek is, alkalmasint kövületekké dermedhetnek, amelyek több száz millió évig fennmaradhatnak.

A kövületek varázsa ellenére is meglepő, mennyi mindent tudnánk nélkülük is az evolúciós múltról. Ha minden kövületet eltüntetnének, a modern organizmusok összehasonlító vizsgálata – vagyis hogy hasonlósági mintáik, elsősorban genetikai szekvenciáik miként oszlanak meg a fajok között, továbbá hogy a fajok miként oszlanak meg a kontinensek és szigetek között – még akkor is kétségtelenül igazolná evolúciós történelmünket, és hogy valamennyi élőlény unokatestvére egymásnak. A kövület ráadás. Örvendetes ráadás persze, de nem nélkülözhetetlen. Érdemes felidézni ezt, amikor a teremtés hívei – a kreacionisták – a kövülettár „hézagairól" értekeznek (az unalomig menően). Ha a kövülettár egyetlen nagy hézagból állna, az evolúció bizonyítékai még akkor is elsöprő túlerőben lennének. Ugyanakkor, ha a kövületeinken kívül semmi egyéb bizonyítékunk nem lenne, az evolúció tényét még akkor is elsöprően alá tudnánk támasztani. A dolgok állása szerint viszont mindkettővel megáldattunk.

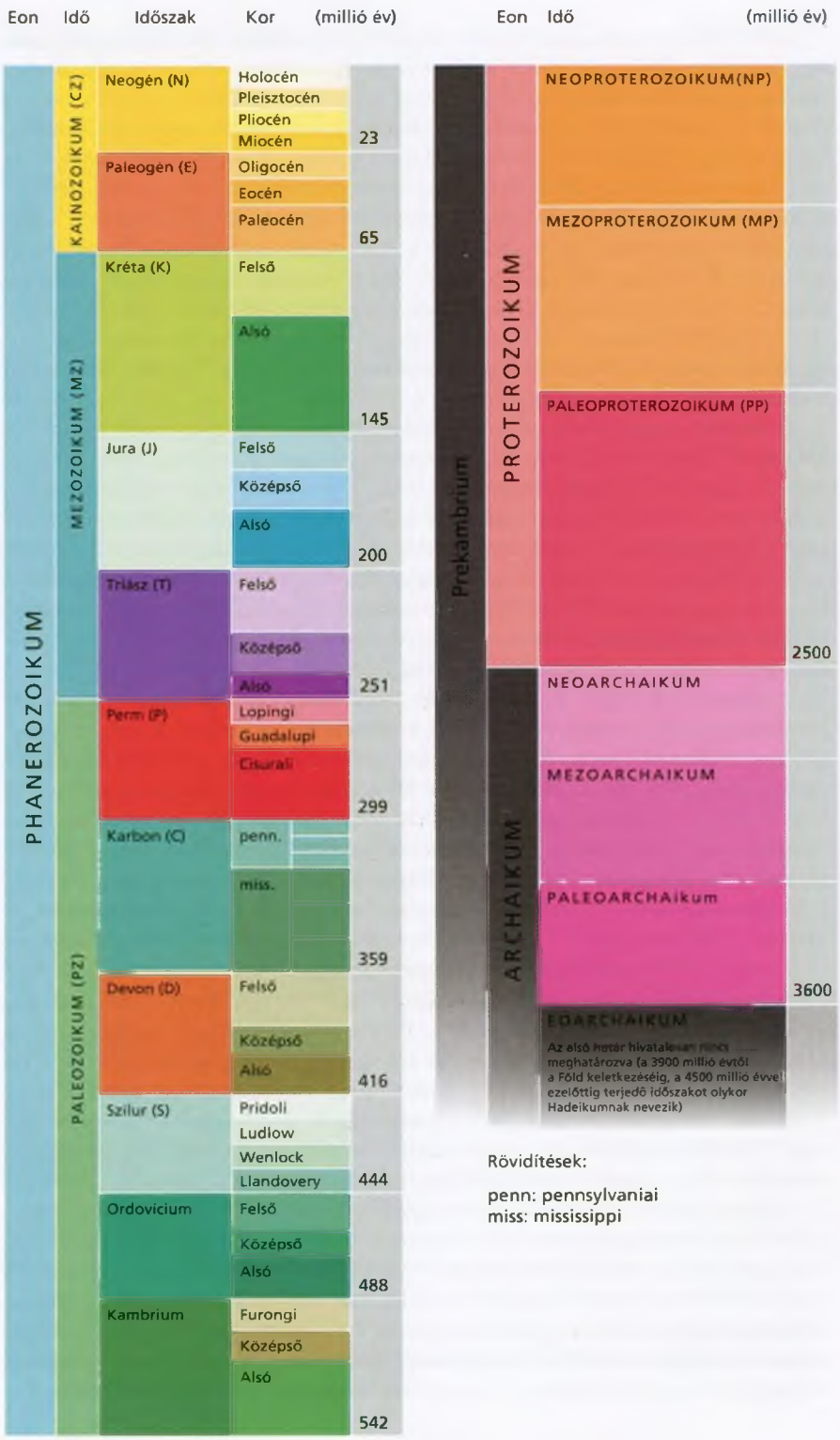
A *kövület* – azaz fosszília – szóval hagyományosan a 10 000 évvel ezelőtti relikviákat szoktuk jelölni: nem túl hasznos hagyomány ez, hiszen semmi különös sincs az olyan kerek számban, mint a 10 000. Ha tíznél kevesebb vagy több ujjunk volna, egészen más számokat tekintenénk kereknek.* Kövület alatt általában azt értjük, hogy az eredeti anyagot egy eltérő vegyi összetételű ásvány pótolta vagy itatta át, és ezért az – mondhatnánk – újjászületett. Az eredeti forma lenyomatát a kő valóban igen hosszú ideig megőrizheti, esetleg némi eredeti anyaggal keverten. Mindez többféleképpen is megtörténhet. A részleteket – amit szakszóval tafonómiának neveznek – *Az Ergaster meséjére* hagyom.

* Ha nyolc (vagy tizenhat) ujjunk volna, akkor természetesen nyolcas (vagy tizenhatos) számrendszerben gondolkodnánk; a kettes számrendszer logikáját könnyebben megértenénk, és bizonyára a számítógépet is korábban feltalálták volna.

Amikor a kövületeket először feltárták és feltérképezték, koruk ismeretlen volt. A legtöbb, amiben reménykedhettünk, a régiségi sorrend volt. Az időrendi besorolás a rétegződés törvényének nevezett feltételezésre épül. A fiatalabb réteg nyilvánvaló okoknál fogva a régebbiekre rakódik, hacsak nem állnak fenn különleges körülmények. Az efféle körülmények, bár néha átmeneti fejtörést okoznak, általában elég nyilvánvalóak. Egy darab kövületekkel teli kőzetet egy gleccser esetleg felvethet egy fiatalabb réteg tetejére. Elképzelhető, hogy egy egész rétegsor teljes egészében megfordul, s ilyenkor függőleges rétegződése pontosan fordított lesz. Az ilyen anomáliákat a világ más tájainak megfelelő kőzeteivel történő összehasonlítással lehet elsimítani. Ezután a paleontológus a világ különböző részeiről való, egymáshoz illeszkedő sorozatok mozaikjátékában összerakhatja az egész kövülettárat.

Miért elkerülhetetlen a mozaikjáték? Miért nem áshatunk le addig, ameddig kedvünk tartja, és miért nem kezelhetjük ezt úgy, mint közvetlen leásást az időben? Nos, jóllehet az idő önmagában egyenletesen folyik, ám ez nem azt jelenti, hogy a világon bárhol egységes rétegződést találunk, amely a geológiai időben kezdettől végig egyenletesen és folyamatosan rakódott le. A kövületágyak egyenetlenül rakódnak le akkor, amikor a körülmények kedvezőek.

Valamely helyszínen tetszőleges időpontban eléggé valószínű, hogy nincs üledékes kőzet, és nem rakódtak le kövületek. Viszont az is eléggé valószínű, hogy a világ *némely* részén előfordul valamikor lerakódott kövület. Egyik olyan helyről a másikra szökellve, ahol különböző rétegek történetesen elérhető közelségben fordulnak elő a felszínhez, a paleontológus joggal reménykedhet valami olyasmi összerakásában, ami megközelíti a folyamatos sorozatot. Természetesen az egyes paleontológusok nem egyik lelőhelyről a másikra, hanem egyrészt egyik múzeumból a



Rövidítések:

penn: pennsylvaniai
miss: mississippi

másikba szökellnek, hogy szemügyre vegyék a tárlókban őrzött leleteket, másrészt közlönyről közlönyre az egyetemi könyvtárakban, hogy tanulmányozzák azoknak a kövületeknek a leírásait, amelyek lelőhelyeit gondosan osztályozták, s e leírások alapján rakosgatják össze a világ különböző részeiről származó kirakójáték darabkáit.

A feladatot megkönnyíti, hogy az egyes, elkülöníthető kőzettulajdonságokkal és állaggal rendelkező és azonos fajtájú kövületeket magukba záró rétegek következetesen különböző térségekben fordulnak elő. A devoni kőzet, amely arról kapta a nevét, hogy először a gyönyörű Devon megye „öreg vörös homokköveként" ismerték, a Brit-szigetek egyéb helyein, Németországban, Grönlandon, Észak-Amerikában és egyebütt is felbukkan. Bárhol találjanak is rá, a devoni kőzet nem csupán a kőzet jellegétől devoni, hanem a benne lévő kövületek bizonyságánál fogva is. Körben forgó érvelésnek hangzik ez, valójában mégsem az: nem jobban, mint amikor valamely tudós a Holt-tengeri tekercsek egyikében a belső bizonyítékok alapján mondjuk Sámuel első könyvét ismeri fel. A devoni kőzetek megbízhatóan osztályozhatók bizonyos jellegzetes kövületek jelenléte alapján.

Ugyanez érvényes az egyéb geológiai időszakokból származó kőzetekre is, egészen a legkorábbi megszilárdult kövületek időszakáig. Az ősi kambriumtól a jelenlegi holocénig a szemközti táblázatban felsorolt geológiai időszakok többnyire a kövületállomány változásai alapján különülnek el. Ennek következtében az egyik időszak végének és a másik kezdetének gyakran szabnak határt a kövületek folytonosságát szembetűnően megszakító kihalások. Miként Stephen Jay Gould fogalmazott, egyetlen paleontológust sem hoz zavarba annak megállapítása, hogy egy kőzetdarab a perm végi nagy tömeges kihalás előtti vagy utáni időszakból származik-e. Az állatfajták között úgyszólván nincs is átfedés. A kövületek (különösen a mikrokövületek) valójában annyira hasznosak a kőzetek besorolásában és kormeghatározásában, hogy az olajipar és a bányászat elsődleges használói közé tartoznak.

Ez a fajta „relatív kormeghatározás" tehát már régóta lehetséges úgy, hogy a kőzetek mozaikjait függőlegesen egymásra illesztjük. A geológiai időszakokat a relatív kormeghatározás céljából nevezték el, még mielőtt az abszolút kormeghatározás lehetővé vált volna, de még ma is hasznosak. Ám a kevés kövületet tartalmazó kőzetek relatív kormeghatározása keményebb dió – márpedig idetartozik a kambriumnál régebbi összes kőzet: vagyis a földtörténet első nyolckilenced része.

Az abszolút kormeghatározással a fizika, mégpedig elsősorban a radioaktivitás fizikájának legutóbbi fejleményeiig várni kellett. Mindez magyarázatot igényel, de ennek részleteivel meg kell várnunk *A vörösfenyő meséjét*. Egyelőre elegendő annyit tudnunk, hogy a kövületek, illetve az őket tartalmazó vagy körülvevő kőzetek abszolút kormeghatározására egy sor megbízható módszerrel rendelkezünk. Mi több, az idetartozó különféle módszerek egész korszakok széles skáláján keresztül hatékonyak, a pár száz évtől (évgyűrűk), az évezredeken (C_{14}) és a millió, százmillió éveken át (urán-tórium-ólom), az évmilliárdokig (kálium-argon).

Megújult emlékek

A kövületek, akárcsak a régészeti leletek, a múlt többé-kevésbé közvetett emlékei. Most a történeti bizonyítékok másik kategóriája, a generációk által sikerrel lemásolt *megújult* emlékek felé fordulunk. Az emberi ügyek történésze számára ezek szá-

SZEMKÖZTI OLDAL
A Nemzetközi Sztratigráfiai (Rétegtani) Bizottság *(www.stratigraphy.com)* által közzétett időskála egyszerűsített változata. A táblázat a párizsi *Commission de la Carte Géologique du Monde* színkódrendszerét alkalmazza. Az időskála eonokra, érákra, időszakokra és korszakokra tagolódik. Az időt évmilliókban jelzi. Megjegyzendő, hogy a pleisztocén és holocén korokra nem hivatalosan „negyedkorként" is utalnak, jóllehet ez a „harmadkorral" együtt egy mára már elavult kormeghatározási rendszerhez tartozik. Az időskála alsó határa hivatalosan meghatározatlan, bár az általános feltevés szerint mintegy 4,6 milliárd évre nyúlik vissza, amikor a Föld és a Naprendszer többi része is kialakult.

hagyomány vagy írott források által továbbadott szemtanúi beszámolókat jelenthetnek. Élő tanútól már nem kérdezhetjük meg, hogy milyen volt az élet a tizennegyedik századi Angliában, de hála az írott emlékeknek, köztük Chaucerének, mégis tudunk róla valamit. Ezek olyan információkat tartalmaznak, amelyeket lemásoltak, kinyomtattak, könyvtárakban elraktároztak, újranyomtattak, és eljuttattak hozzánk, hogy ma elolvashassuk. Ha egyszer egy történet nyomdába vagy valamilyen számítógépes adathordozóra került, másolatai jó eséllyel öröklődhetnek a távoli jövőre.

Az írott feljegyzések zavarba ejtő mértékben megbízhatóbbak a szájhagyománynál. Az ember azt gondolná, hogy a gyermekek minden egyes generációja ismeri szüleit – ahogy a legtöbb gyerek ismeri is –, és odafigyel a részletes visszaemlékezésekre, és továbbadja azokat a következő nemzedéknek. Öt nemzedék alatt, gondolná az ember, roppant mennyiségű szájhagyományozott anyagnak kellett volna fennmaradnia. Tisztán emlékszem négy nagyszülőmre, de nyolc dédszülőmről mindössze egy maroknyi töredékes anekdotát tudok. Egyik dédapámnak az volt a szokása, hogy egy bizonyos ostoba rigmust énekelgetett (amit én is ismerek), de csak bakancsának befűzése közben. Egy másik mohón falta a tejszínhabot, és ha vesztett, felborította a sakktáblát. A harmadik vidéki orvos volt. Ennyit tudok. Hogyan csökkent le nyolc teljes élet ennyire? Hogyan merülhetett ilyen gyorsan feledésbe nyolc teljes emberi életet alkotó ezernyi személyes részlet, amikor a hírközlőknek a minket a szemtanúkkal összekötő láncolata oly rövidnek tűnik, és az emberi nyelv oly gazdag?

Nyugtalanító módon a szájhagyomány azonnal elenyészik, hacsak nem szenteli meg az énekmondók szavalása, mint azt az anyagot, amit végül Homérosz írásba foglalt, de a történet még akkor is távol áll attól, hogy pontos legyen. Meglepően kevés nemzedék múlva értelmetlenséggé és valótlansággá romlik. A valóságos hősökről, gazemberekről, állatokról és vulkánokról szóló tények gyorsan félistenekről, démonokról, kentaurokról és tűzokádó sárkányokról regélő mítoszokká korcsosulnak (vagy ízlésünktől függően: nemesednek).* Ám a szájhagyománynak és annak fogyatékosságainak ezúttal nem kell feszélyezniük bennünket, hiszen végül is az evolúciótörténetben nincs megfelelőjük.

Az írás hatalmas előrelépés. A papír, a papirusz, de még a kőtáblák is elkophatnak vagy elpusztulhatnak, ám az írott dokumentumoknak megvan az esélyük arra, hogy számtalan nemzedéken át pontosan lemásolják őket, bár a gyakorlatban a pontosság nem teljes. Ki kell fejtenem, mit is értek pontosságon, és valójában azt is, mit értek nemzedék alatt. Ha valaki leír nekem egy üzenetet, amit lemásolok és továbbadok egy harmadik személynek (a következő másoló „nemzedéknek"), eredményként nem pontos másolatot kapunk, hiszen a kézírásom eltér az illetőjétől. Ám ha az illető választékosan ír, és én kínos pontossággal társítom cirkalmait közös ábécénk megfelelő betűjéhez, az üzenetet jó eséllyel teljes pontossággal másolom le. Elméletileg ezt a pontosságot írnokok végtelen számú „nemzedékén" át meg lehet őrizni. Tekintve, hogy az író és olvasó által közösen elfogadott, egyedi ábécéről van szó, a másolás lehetővé teszi, hogy az üzenet túlélje az eredeti pusztulását. Az írás eme tulajdonságát „önrendezőnek" nevezhetjük. Azért működik, mert egy valódi ábécé betűi különállóak. A pont, amely az analóg és digitális kódok közti különbségre emlékeztet, kissé bővebb kifejtést igényel.

* John Reader a *Man on Earth* (Ember a Földön) című könyvében megjegyzi, hogy az inkák, akiknek nem volt írott nyelvük (hacsak csomózott zsinórjaikat nem használták a nyelv megörökítésére is a számolás mellett, miként azt újabban felvetették), tán kompenzálásként erőfeszítést tettek szájhagyományuk pontosságának növelésére. A hivatásos történészeknek „hatalmas mennyiségű információt kellett emlékezetükbe vésniük, és visszamondaniuk, ha a közigazgatási tisztviselők megkívánták. Nem meglepő, hogy a történész szerepköre apáról fiúra szállt."

Létezik egy mássalhangzó, amely az angol kemény *c* és *g* közé esik (megfelel a francia *comme* kemény *k*-jának). Ám senkinek nem jutna eszébe, hogy ezt a hangot írásban olyan betűvel próbálja jelezni, amely a *c* és a *g* közti átmenetnek tűnne. Mindannyian tudomásul vesszük, hogy egy angol betűnek, egynek és csakis egynek, a 26 betűs ábécé egyikének kell lennie. Tudomásul vesszük, hogy a francia nyelv ugyanazt a 26 betűt használja a mieinkkel nem pontosan azonos, esetleg a mieink közti átmenetet jelentő hangokra. Minden egyes nyelv, sőt minden helyi akcentus vagy dialektus más-más módon használja ugyanazt az ábécét a különböző hangok önrendezésére.

Az önrendezés a „postás játék"* nemzedékeken átívelő üzenetrontása ellen hat. Ugyanez a védelem a másolóművészek során át lemásolt és újramásolt rajz számára nem biztosított, hacsak a rajzolási stílus nem testesít meg egyfajta saját „önrendezési" változatnak tekinthető rituális konvenciót. Valamely eseményről szóló írott szemtanúi tudósítás ugyanannak az eseménynek képi ábrázolásával szemben jó esélyel reprodukálódik pontosan évszázadokkal későbbi történelemkönyvekben is. Ránk maradt egy vélhetően pontos tudósítás Pompeii pusztulásáról Kr. u. 79-ben, mert egy szemtanú, ifjabb Plinius két levelében megírta a látottakat Tacitusnak, a történésznek; és Tacitus néhány írása az egymást követő másolás és utóbb nyomtatás révén fennmaradt, így ma is olvashatjuk őket.** Az írás hatalmas előrelépést jelentett a pontosság terén az emlékezethez és a szájhagyományhoz képest már a Gutenberg előtti korban is, amikor a dokumentumokat írnokok másolták.

Csupán elméleti eszmény, hogy az ismétlődő másolás megőrzi a tökéletes pontosságot. A gyakorlatban az írnokok esendők, és a kozmetikázást sem vetik meg, amikor másolataikkal olyanokat mondatnak, amelyekről úgy vélték (kétségtelenül őszintén), hogy az eredeti dokumentumnak mondania kellett. Ennek leghíresebb példája, miként azt a tizenkilencedik századi német teológusok alaposan kimutatták, az Újszövetség meghamisítása, hogy egybevágóvá tegyék az Ószövetség próféciáival.***

A szándékos hamisítástól eltekintve az ismétlődő másolás mindig ki van téve olyan egyszerű hibáknak, mint egy-egy sor vagy egy szó kihagyása egy listáról. Mindenesetre az írás nem vihet bennünket vissza a mintegy 5000 évvel ezelőtti feltalálásánál korábbi időkbe. Az azonosító szimbólumok, a számolásra szolgáló jelek és képek egy kicsit távolabb nyúlnak, tán néhány tízezer évvel is akár, de mindezek az időszakok elhanyagolhatók az evolúciós időhöz képest.

Szerencsére az evolúció terén létezik egy másfajta másolt információ, amely szinte elképzelhetetlenül nagyszámú másoló nemzedékre nyúlik vissza, és amelyet egy kis költői szabadsággal élve az írott szöveg megfelelőjének tekinthetünk: egy olyan történelmi feljegyzés, amely éppen azért újul meg elképesztő pontossággal nemzedékek százmillióin át, mert akárcsak írásrendszerünk, önrendező ábécével rendelkezik. A valamennyi élőlényben lévő DNS-információ a távoli ősöktől bámulatos hűséggel hagyományozódott tovább. A DNS egyedi atomjai állandóan cserélődnek, de az elrendeződésük mintázatába kódolt információ évek milliói, olykor százmilliói során át másolódik. A modern molekuláris biológia fortélyainak segítségével közvetlenül leolvashatjuk a tényleges DNS-betűsorozatot, vagy ennél kissé közvettebben, a fehérjévé alakuló aminosavszekvenciákat. Netán, még inkább közvetett módon, mintegy sötétített üvegen keresztül olvashatjuk a DNS embrio-

* A postás játékban (az amerikai gyerekek „telefonosnak", az angolok „kínai suttogó"-nak nevezik) egy csomó gyerek sorba áll. Egy történetet suttognak az első gyerek fülébe, aki azt továbbsuttogja a következőnek, és így tovább az utolsó gyerekig, aki aztán elmondja a saját változatát, amely az eredeti történet mulatságosan elferdített és félrehallott változatának bizonyul.

** Ifjabb Plinius két levele is fennmaradt: VI. 16. és 20. *(A szerk.)*

*** Az érintett írnokok talán nem szándékosan hazudtak. Azokhoz az evangéliumírókhoz hasonlóan, akik maguk is jóval Jézus halála után éltek, őszintén hitték, hogy Jézus az ószövetségi messianisztikus próféciák megtestesülése volt. Ezért „kellett" Betlehemben születnie, és Dávid házából származnia. Ha a dokumentum megmagyarázhatatlan módon elmulasztott erről megemlékezni, akkor az írnok lelkiismeretbeli kötelessége volt a fogyatkozás orvoslása. Egy kellően hitbuzgó írnok, feltesszem, nem tekintette volna ezt inkább hamisításnak, mint amikor mi automatikusan kijavítunk egy helyesírási hibát vagy nyelvtani baklövést.

lógiai termékeinek: a testek alakzatainak, szerveinek és kémiai működésének tanulmányozása révén. Nincs szükségünk kövületekre, hogy bepillanthassunk a történelembe. Minthogy a DNS igen lassan változik a nemzedékeken át, a történelem kódolt betűkbe vésve átszövi a modern állatok és növények szövetét.

A DNS-üzenetek valódi ábécéjével íródtak. A latin, a görög vagy a cirill írásrendszerekhez hasonlóan a DNS-ábécé repertoárja is szigorúan korlátozott, magától értetődő jelentéssel nem rendelkező szimbólumokból áll. A választott tetszőleges szimbólumok korlátlan bonyolultságú és terjedelmű, értelmes üzenetekké kombinálódnak. Míg az angol ábécé 26, a görög 24 betűből áll, addig a DNS-ábécé 4 betűre épül. A legtöbb hasznos DNS hárombetűs szót alkot egy 64 szóra korlátozódó szótárból, melyben minden szót „tripletnek" nevezünk. A szótárkészlet egynémely szavai szinonimák, ami annyit jelent, hogy a genetikai kód a szó szoros értelmében *degenerált*.*

A szótár a 64 kódszót 21 jelentéshez társítja – a 20 biológiai aminosavhoz és egy univerzális írásjelhez. Az emberi nyelvek számosak és változók, szótárkészletük pedig több tízezer külön szót tartalmaz, ám a 64 szavas DNS-szótár egyetemes és változatlan (néhány ritka eset apró változtatásaitól eltekintve). A 20 aminosav rendszerint néhány száz szekvenciává fűződik, ahol minden szekvencia egy külön fehérjemolekula. Míg a betűk száma négyre, a tripletek száma 64-re korlátozódik, a tripletek különböző szekvenciáival kifejezhető fehérjék száma elméletileg korlátlan. Lehetetlen megszámolni. Egy bizonyos fehérjemolekulát meghatározó triplet „mondat" egy azonosítható egység, amit gyakran génnek neveznek. A géneket azonkívül, ami egymásutániságukból kiolvasható, semmiféle elválasztó nem különíti el szomszédjaiktól (akár más gének, akár ismétlődő értelmetlenségek is azok). Ebben a tekintetben hasonlítanak A TÁVIRATHOZ VESSZŐ AMELYBŐL HIÁNYOZNAK AZ ÍRÁSJELEK VESSZŐ ÉS SZAVANKÉNT KELL KIBOGOZNI ŐKET VESSZŐ BÁR MÉG A TÁVIRATNAK IS MEGVAN AZ AZ ELŐNYE VESSZŐ HOGY A SZAVAK ELKÜLÖNÜLNEK VESSZŐ AMI A DNS ESETÉBEN HIÁNYZIK PONT

A DNS abban különbözik az írott nyelvtől, hogy az értelem szigeteit zagyvaságóceán választja el egymástól, ami soha nem íródik át. A „teljes" gének az átírás közben értelmes „exonokká" állnak össze, értelmetlen „intronokkal" elválasztva, amelyek szövege fölött az olvasóapparátus egyszerűen átsiklik. Mi több, sok esetben még a DNS értelmes szakaszainak leolvasására sem kerül sor soha – ezek feltehetően egykor hasznos gének feleslegessé vált másolatai, amelyek éppen úgy lábatlankodnak ott, mint egy fejezet vázlatai egy túlzsúfolt merevlemezen. Valójában az a kép, hogy a genom egy régi merevlemezre hasonlít, amelyre igencsak ráférne egy tavaszi nagytakarítás, időnként jó szolgálatot fog tenni nekünk mindvégig a könyvön át.

Nem árt megismételnünk, hogy a rég elpusztult állatok DNS-molekulái nem őrződnek meg. A DNS-ben lévő *információ* őrizhető meg örökké, de csakis a gyakori újramásolás segítségével. A *Jurassic Park* cselekménye, bár nem teljesen ostobaság, ellentmond a gyakorlati tényeknek. Elképzelhető, hogy nem sokkal a borostyánba záródását követően egy vérszívó rovar tartalmazhatta egy dinoszaurusz újraalkotásához szükséges utasításokat. Ám sajnálatosan egy organizmus halála után a testében és az általa felszívott vérben lévő DNS néhány évnél – némely puha szövet esetében csupán néhány napnál – tovább nem marad ép. A megkövülés sem őrzi meg a DNS-t.

* A *degenerált* helyett olykor tévesen a *redundáns* kifejezéssel élnek, ami azonban mást jelent. Valójában a genetikai kód is redundáns, amennyiben a kettős spirál mindkét ága azonos információ hordozására is lehet kódolva. Valójában csak az egyik kódolt, míg a másik a hibák kijavítására szolgál. A mérnökök is használják a redundanciát – vagyis az ismétlődést – a hibák kijavítására. A genetikai kód degeneráltsága mást jelent, és mi most erről beszélünk. Egy degenerált kód szinonimákat tartalmaz, és ezért szélesebb jelentéstartományt foglalhat magában, mint amit ténylegesen tartalmaz.

Még a mélyhűtés sem őrzi meg túl soká. Miközben ezt írom, tudósok éppen abban a reményben ásnak ki egy megfagyott mamutot a szibériai örök fagyból, hogy elegendő DNS-t nyerhetnek, amely egy mai elefánt méhébe klónozva egy új mamuttá válhat. Attól félek, hiú remény ez, bár a mamut csupán néhány ezer éve halott. Az egyik legrégibb tetem, amelyből olvasható DNS-t nyertek, egy Neander-völgyi férfié. Képzeljük csak azt a gabalyodást, ha valakinek sikerülne újraklónoznia. De hála istennek, csak összefüggéstelen töredékeit sikerült visszanyerni a férfi 30 000 éves DNS-ének. Az örök fagyban megőrzött növényeknél a csúcs körülbelül 400 000 év.

A DNS esetében az a lényeg, hogy amíg a szaporító élet lánca meg nem szakad, kódolt *információja* azt megelőzően másolódik át egy új molekulára, hogy a régi molekula elpusztulna. Ebben a formában a DNS-információ jóval túléli a molekuláit. Az információ megújítható – másolt –, és mivel a másolatok a betűk többségében gyakorlatilag minden alkalommal tökéletesek, elvileg végtelenül hosszú ideig megmaradhat. Élő testek egymást követő nemzedékein át őseink hatalmas mennyiségű DNS-információja maradt fenn teljesen változatlanul, olykor több százmillió évvel ezelőttről.

Ilyen értelmezésben a DNS-feljegyzés csaknem hihetetlenül gazdag adomány a történész számára. Ugyan melyik történész bátorkodott volna egy olyan világban reménykedni, amelyben minden faj minden egyes egyede saját testében hordoz egy hosszú és részletes szöveget: egy, az időkön áthagyományozott írott dokumentumot? Emellett a szövegben apró, véletlenszerű változások vannak, amelyek elég ritkán fordulnak elő ahhoz, hogy ne kuszálják össze a feljegyzést, mégis elég gyakran ahhoz, hogy megkülönböztető jegyeket szolgáltassanak. És ez még nem minden. Nem esetleges szövegről van szó csupán. Az *Unweaving the Rainbow* (Szivárványbontás) című könyvemben darwinista szemmel felvetettem, hogy tekintsük valamely állat DNS-ét egyfajta „genetikai halottaskönyvnek": az ősök világáról szóló leírásnak. A darwinista evolúcióból következően egy állaton vagy növényen minden, testformáját, öröklött viselkedését és sejtjeinek kémiáját is beleértve, kódolt üzenet abból a világból, amelyben ősei éltek: milyen táplálék után jártak; milyen ragadozóktól menekültek meg; milyen éghajlatot viseltek el; milyen párt bűvöltek el. Az üzenet végül a DNS-be íródott, amely átesett azokon az egymást követő szűrőkön, amely végül is nem más, mint a természetes kiválasztódás. Ha megtanuljuk helyesen olvasni, a delfin DNS-e egy nap megerősítheti azt, amit anatómiája és fiziológiája árulkodó jeleiből máris tudunk: hogy ősei valaha a szárazföldön éltek. Háromszáz millió évvel ezelőtt valamennyi szárazföldi gerinces ősei, a delfinek szárazföldi őseivel együtt, elhagyták azt a tengert, ahol az élet kezdetétől fogva éltek. DNS-ünk kétségtelenül megörökíti ezt, ha el tudnánk olvasni. Egy mai állaton minden, különösen a DNS-e, de végtagjai, szíve, agya, sőt párzási ciklusa is egy archívum, múltjának krónikája, még akkor is, ha ez a krónika egy számos alkalommal átírt pergamen csupán. Lehet mégoly adomány is a DNS-krónika a történész számára, mégis nehezen olvasható: alapos tájékozottságú értelmezést igényel. Még hatásosabbá tehető, ha történelmi rekonstrukciónk harmadik módszerével, a háromszögeléssel társítjuk. Most efelé fordulunk, és ismét az emberi történelem egyik analóg esetével, mégpedig a nyelvtörténettel kezdjük.

Háromszögelés

A nyelvészek gyakran szeretnék visszakövetni a nyelvek útját a történelemben. Viszonylag könnyű dolguk van ott, ahol írott emlékek maradtak fenn. A nyelvtörténészek itt élhetnek második rekonstrukciós módszerünkkel, a megújuló emlékek, ez esetben a szavak visszakövetésével. A modern angol a folyamatos irodalmi hagyomány által, Shakespeare-en, Chauceren és *Beowulf*on át a középangolon keresztül az angolszászig nyúlik vissza. Ám a beszéd nyilvánvalóan jóval megelőzi az írás felfedezését, és sok nyelv egyáltalán nem rendelkezik írással. A holt nyelvek korai történetével kapcsolatban a nyelvészek gyakran folyamodnak az általam háromszögelésnek nevezett módszer egyik változatához. Összehasonlítják a modern nyelveket, és egymásra hierarchikusan épülő családokba sorolják őket. A román, a germán, a szláv, a kelta és egyéb európai nyelvcsaládokat viszont néhány indiai nyelvcsaláddal együtt az indoeurópaiba sorolják. Egyes nyelvészek úgy vélik, hogy a „proto-indoeurópai" egy tényleges nyelv volt, amit mintegy 6000 évvel ezelőtt egy bizonyos törzs beszélt. Utódai közös sajátosságaiból visszakövetkeztetve még olyan becsvágy is fűti őket, hogy rekonstruálják annak számos részletét. A világ más részeinek az indoeurópaival egyenrangú egyéb nyelvcsaládjait, például az altajit, a dravidát vagy az uráli-jukagirt ugyanígy követik nyomon visszafelé. Némely optimista (és vitatott) nyelvész hisz abban, hogy még ennél is továbbmehet, és ezeket a főbb nyelvcsaládokat egy mindent felölelő családok családjába egyesítheti. Ily módon meggyőzték magukat, hogy rekonstruálhatják az általuk nosztratikusnak nevezett, feltételezett ősnyelv egyes elemeit, amelyet szerintük a 12 000 és 15 000 évvel ezelőtti időszakban beszéltek.

Sok nyelvész, miközben örvendezik a proto-indoeurópainak és az egyéb azonos rangú ősnyelvnek, ugyanakkor kételkedik annak lehetőségében, hogy egy olyan ősi nyelv, mint a nosztratikus, rekonstruálható. Szakmai szkepszisük felerősíti saját amatőr hitetlenségemet. Egyáltalán nem kétséges azonban, hogy a háromszögelési módszerek megfelelői – a mai organizmusok összehasonlítására szolgáló különböző technikák – működnek az evolúciótörténet esetében, és segítségükkel százmillió évekre hatolhatunk vissza a múltba. A mai állatok alaposan kidolgozott összehasonlítása még akkor is lehetővé tenné őseik tárgyilagos és hihető rekonstruálását, ha nem lennének kövületeink. Ahogy egy nyelvész a modern nyelvekre és a már rekonstruált kihalt nyelvekre építő háromszögeléssel a múlton át eljut a proto-indoeurópaiig, ugyanígy járhatunk el a mai szervezetek esetében, ha összehasonlítjuk akár külső tulajdonságaikat, akár fehérje- vagy DNS-szekvenciáikat. Ahogy a világ könyvtárai egyre több mai faj hosszú és pontos DNS-lajstromait halmozzák fel, úgy növekszik a háromszögelés megbízhatósága, mégpedig elsősorban azért, mert a DNS-szövegeknek oly nagymérvű az átfedési tartománya.

Hadd fejtsem ki, mit értek „átfedési tartomány" alatt. Még két rendkívül távoli rokontól – mondjuk az embertől és a baktériumtól – vett DNS-nek is igen nagy szakaszai egyértelműen hasonlítanak egymásra. A nagyon közeli rokonoknak – például az embernek és a csimpánznak – sokkal több DNS-e közös. Ha körültekintően választjuk ki a molekuláinkat, a mindvégig egyre növekvő arányban közös DNS teljes spektrumát kapjuk. Választhatunk molekulákat – menjünk végig az összevetés teljes skáláján – olyan távoli unokatestvérektől, mint az ember és a bakté-

rium, az olyan közeliekig is, mint két békafaj. A nyelvek közti hasonlóságot nehezebb megállapítani, kivéve persze az olyan közeli nyelvrokonokat, mint a német és a holland. Az érvek azon láncolata, amely némely reményteli nyelvészt a nosztratikus nyelvig vezet, éppen eléggé vékonyka ahhoz, hogy a kapcsolatot más nyelvészek kétségbe vonják. Talán a nosztratikushoz vezető háromszögelés megfelel a DNS háromszögelésének mondjuk az ember és baktérium között? Ám az emberek és a baktériumok egynémely génje mit sem változott a nosztratikusnak megfelelő közös ősük óta. Másfelől, maga a genetikai kód lényegében azonos valamennyi fajban, miként bizonyára azonos volt a közös ősben is. Azt is mondhatnánk, hogy a német és a holland közti hasonlóság párhuzamba állítható bármely két emlős közti hasonlósággal. Az ember és a csimpánz DNS-ei annyira hasonlók, mint az angol két dialektusa. Viszont az angol és a japán vagy a spanyol és baszk közt oly csekély a hasonlóság, hogy nincs olyan élőlénypár, amit velük párhuzamba állíthatnánk, még az embert és a baktériumot sem. Az embernek és a baktériumnak akadnak olyan DNS-szakaszai, amelyek annyira hasonlók, mint a szóról szóra azonos bekezdések.

Mindeddig a DNS-szekvenciák háromszögelésre való felhasználásáról beszéltem. Elvileg működik ez a nagy morfológiai jegyek esetében is, ám molekuláris adatok hiányában a távoli ősök éppoly nehezen megragadhatók, mint a nosztratikus nyelv. Akárcsak a DNS esetében, a morfológiai jegyeknél is feltételezzük, hogy azokat a jegyeket, amelyek egy ős számos leszármazottjánál közösek, valószínűleg (vagy legalábbis némileg nagyobb valószínűséggel, mint nem) attól az őstől örökölték. Valamennyi gerincesnek van gerince, és mi feltételezzük, hogy ezt (szorosabb értelemben a gerincnevelő géneket), a kövületek tanúsága szerint egy több mint félmilliárd évvel ezelőtt élt távoli őstől örökölték. A morfológiai háromszögelésnek ezt a fajtáját használom ebben a könyvben, hogy elképzelhessük a köz-ősök testalkatát. Jobban örültem volna, ha jobban támaszkodhatnánk egy közvetlenül a DNS-re épülő háromszögelésre, ám arra való képességünk, hogy megjósoljuk, miként változtatja meg egy génváltozás valamely szervezet morfológiáját, még elégtelen a feladathoz.

A háromszögelés még hatékonyabb, ha sok fajt vonunk be. Ehhez azonban olyan kifinomult módszerek szükségesek, amelyek erősen építenek egy pontosan megalkotott családfára. Ezeket a módszereket *A gibbon meséjében* tekintjük át. A háromszögelés kölcsönvehető a bármely tetszőleges evolúciós elágazás időpontjának meghatározására szolgáló eljáráshoz is. A „molekuláris óráról" van szó. Röviden, ez a módszer az élő fajok molekulasorozatai közti eltérések számának meghatározására épül. A közelmúltbeli közös össel bíró közeli rokonoknak kevesebb az eltérésük, mint a távoliaknak, lévén – vagy legalábbis ebben bízva –, hogy a közös ős kora a két leszármazottja közötti molekuláris különbségek számával arányos. Ezután kalibráljuk a molekuláris óra tetszőleges időskáláját, vagyis azon néhány alapvető elágazási pont alapján, ahonnét rendelkezünk ismert korú kövületekkel, tényleges évekre váltjuk. A gyakorlatban mindez nem ilyen egyszerű, úgyhogy az ezzel kapcsolatos bonyodalmakkal, nehézségekkel és vitákkal *A bársonyféreg meséjének* előhangja foglalkozik majd.

Chaucer *Általános bevezetője* egyenként mutatta be zarándoklatának teljes szereplői gárdáját. Az én szereplőgárdám ehhez túlságosan nagy. Valójában maga az elbeszélés a 40 találkozóhelyen elhangzó bemutatások hosszú sorozatából áll. Ám egy

olyan fajta előzetes bevezetőre mégis sort kell kerítenünk, amilyennel nem találkozunk Chaucernél. Az ő szereposztása egyénekre épült – az enyém csoportokra. Ezért be kell mutatnunk, hogyan csoportosítjuk az állatokat és a növényeket. A 10. találkozás alkalmával zarándoklatunkhoz körülbelül 2000 különböző pocok-, házi-, mezei-, valamint pocoknyúlfaj csatlakozik, amelyeket gyűjtőnéven rágcsálóknak nevezünk. A fajokat hierarchikusan egymásra épülő módon csoportosítjuk, és minden csoportnak saját neve van (az egérszerű rágcsálók családját Muridaenek, a mókusféléket Sciuridaenek nevezzük). Ugyancsak külön neve van a csoportok kategóriájának. A Muridae család, akárcsak a Sciuridae. Annak a rendnek a neve pedig, amelyben mindkettő tartozik, Rodentia (rágcsálók). A rágcsálófélék az a rend, amely összefogja a pockokat, a nyulakat és hozzájuk hasonlókat. Az ilyen kategórianevek is hierarchikusak, amelyben a család és a rend valahol középtájt helyezkedik el a hierarchiában. A fajok a hierarchia aljának közelében találhatók. A nemtől a családon, renden, osztályon keresztül jutunk a törzshöz, kiegészítve ezeket az „al-" és „fő-" toldalékokkal, amelyek a beszúrásra nyújtanak teret.

A különböző mesék tanulsága szerint a fajok különleges helyzetben vannak. Minden fajt két tagból álló, dőlt betűvel szedett tudományos névvel jelölünk, ahol az első, nagybetűs tag a nemnek, a második, kisbetűs tag a fajnak felel meg. A leopárd (párduc/*panther*), az oroszlán és a tigris mind a *Panthera* nembe tartoznak a macskafélék családján (Felidae) belül, és nevük rendre: *Panthera pardus, Panthera leo* és *Panthera tigris*. A Felidae a ragadozók rendjébe (Carnivora), az emlősök osztályába (Mammalia), a gerincesek altörzsébe (Vertebrata) és a gerinchúrosok (Chordata) törzsébe tartoznak. Nem időzünk tovább a nevezéktan (taxonómia) elveinél, de ahol szükséges, visszatérünk rájuk a könyv során.

Indul a zarándoklat

Itt az ideje, hogy felkerekedjünk a múltba vezető zarándokutunkra, amelyet tekinthetünk akár egy időgépen megteendő őskereső utazásnak is. Pontosabban, melynek okát majd *A Neander-völgyi meséjé*ben mondom el, ősi génjeinket keressük. Visszautunk első néhány tízezer évében ősi génjeink olyan egyedekben találhatók, akik pontosan úgy néznek ki, mint mi. Nos, ez nyilván nem szó szerint igaz, hiszen mi sem ugyanúgy nézünk ki. Hadd fogalmazzak másként. Zarándoklatunk első néhány tízezer évében, azok az emberek, akikkel időgépünkből kilépve találkozunk, nem különböznek jobban tőlünk, mint amennyire mi ma különbözünk egymástól. Ne feledjük, hogy a „mi, mába" beletartoznak a németek és a zuluk, a pigmeusok és a kínaiak, a berberek és a melanéziaiak is. 50 000 évvel ezelőtti genetikai őseink éppen olyan változatosságot mutatnának, mint azok, akiket ma a világon magunk körül látunk.

Ha nem a biológiai evolúciót, akkor hát miféle változásokat látunk, ha csak pár tízezer évvel megyünk vissza, szemben a több száz vagy ezer évezreddel? Van egy evolúciószerű, nagyságrendekkel gyorsabb folyamat, mint a biológiai evolúció, amely időgépes utazásunk első szakaszain uralja a hajóablakon át feltáruló látványt. Nevezik ezt kulturális evolúciónak, exoszomatikus evolúciónak vagy technikai evolúciónak is. Ezt látjuk a gépkocsi, a nyakkendő vagy az angol nyelv „evolúciójában". Nem szabad túlértékelnünk ennek hasonlóságát a biológiai evolúcióval, és semmi esetre sem fog sokáig feszélyezni bennünket. Négymilliárd éves út áll előttünk, és időgépünket hamarosan túl nagy sebességre kell kapcsolnunk ahhoz, hogy az emberi történelem skáláján zajló eseményekből futó pillantásnál több maradjon számunkra.

Ám mindenekelőtt, amíg időgépünk továbbra is a legalacsonyabb sebességfokozatban fut, hiszen inkább az emberi történelem, semmint az evolúciótörténet időskáláján utazunk, két jelentős kulturális előrelépés meséje következik. *A földműves meséje* a mezőgazdasági forradalomról szól, arról az emberi újításról, amely alátámaszthatóan a legerőteljesebb következményekkel járt a világ többi élőlénye számára. *A crô-magnoni meséje* pedig a „Nagy Ugrásról" szól, az emberi elme ama kivirulásáról, amely bizonyos értelemben magához az evolúciós folyamathoz szolgáltatott új közeget.

A földműves meséje

A mezőgazdasági forradalom az utolsó jégkorszak végén, mintegy 10 000 évvel ezelőtt kezdődött az úgynevezett „termékeny félhold" övezetében a Tigris és az Eufrátesz között. Ez az emberi civilizáció bölcsője, amelynek a Bagdadi Múzeumban őrzött pótolhatatlan emlékeit a közönyös amerikai megszállók szeme láttára 2003-ban dúlták fel, akiknek ehelyett fontosabb volt az Olajügyi Minisztérium védelme. A mezőgazdaság talán ettől függetlenül Kínában és a Nílus partjain, valamint teljesen függetlenül az Újvilágban is megjelent. A mezőgazdasági civilizáció egy további független bölcsőjeként vetődik fel érdekes módon Új-Guinea elképesztően elzárt, belső magasföldje. A mezőgazdasági forradalom jelzi az újkőkorszak, a neolitikum kezdetét.

A vándorló, vadászó-gyűjtögető életmódról a letelepedett földműves életre történt áttérés jelenti talán azt az időt, amikor az ember otthonképzete először kialakult. Az első földművesek kortársai a világ többi részén javíthatatlan vadászó-gyűjtögetők maradtak, akik többé-kevésbé szakadatlan vándoroltak. A vadászó-gyűjtögető életmód (a vadászhoz sorolva a halászt is) valójában nem halt ki. Elszigetelt embercsoportok ma is gyakorolják világszerte: az ausztrál őslakók, a (tévesen „busmannak" nevezett) dél-afrikai szanok és rokon törzseik, a (tájolási hiba folytán indiánnak nevezett) különböző észak-amerikai bennszülött törzsek és a sarkvidéki inuitok (akik nem veszik jó néven, ha eszkimónak hívják őket). A vadászó-gyűjtögetők általában nem termesztenek növényeket, és nem tartanak állatokat. A gyakorlatban a tiszta vadászó-gyűjtögető és a tiszta földműves vagy állattartó közti minden átmeneti állapot megtalálható. Ám 10 000 évvel ezelőtt valamennyi embercsoport vadászó-gyűjtögető volt. Hamarosan talán egy sem lesz az. Akik nem halnak ki, „civilizálódnak" vagy – nézetünktől függően – megromlanak.

Colin Tudge *Neanderthals, Bandits and Farmers: How Agriculture Really Began* (Neander-völgyiek, banditák és földművesek: Hogyan kezdődött igazából a mezőgazdaság) című kis könyvében igazat ad Jared Diamondnak (*The Third Chimpanzee*, magyarul: A harmadik csimpánz) abban, hogy az áttérés a vadászatról és a gyűjtögetésről a mezőgazdaságra semmi esetre sem volt akkora javulás, mint ahogy azt mi, az utólagos bölcsesség hiúságában tetszelegve gondolnánk. A mezőgazdasági forradalom szerintük nem tette boldogabbá az embereket. A mezőgazdaság nagyobb népességet tartott el, mint az általa kiszorított vadászó-gyűjtögető életmód, de nem egyértelműen javította az egészséget, és nem fokozta a boldogságot. Valójában a nagyobb népesség – alapos evolúciós okoknál fogva – általában sokkal ártalmasabb betegségeknek a táptalaja (a parazitát kevésbé érdekli aktuális gazdája életben tartása, ha könnyedén talál új, megfertőzhető áldozatokat).

Helyzetünk azonban vadászó-gyűjtögetőként sem lehetett paradicsomi. Csak újabban jött divatba úgy tekinteni a vadászó-gyűjtögető és a primitív* mezőgazdasági társadalmakra, mint amelyek jobban „egyensúlyban" vannak a természettel, mint mi. Ez alighanem tévedés. Meglehet, többet tudtak a vadonról pusztán annál fogva, hogy benne éltek, és maradtak fenn. Ám úgy tűnik, tudásukat hozzánk hasonlatosan a korban adott lehetőségeikkel leginkább élve a környezet kiaknázására (sőt gyakran kizsákmányolására) használták. Jared Diamond a korai földművesek ál-

* A könyvben a *primitív* szót technikai értelemben használom, az 'ősi állapothoz hasonlóbb' értelemben. Semmiféle alacsonyabbrendűségre nincs szándékom utalni vele.

tali kizsákmányolást hangsúlyozza, amely ökológiai összeomláshoz és társadalmuk kimúlásához vezetett. Távol a természettel való összhangtól, vélhetően a mezőgazdaság előtti vadászó-gyűjtögetők voltak a felelősök számos nagyemlős kihalásáért szerte e földgolyón. A távoli területeknek a vadászó-gyűjtögetők által közvetlenül a mezőgazdasági forradalmat megelőzően végbement birtokbavételét a régészeti emlékek tanúsága szerint gyanúsan gyakran kíséri számos nagy testű (és feltehetően ízletes) madár és emlős kiirtása.

Hajlamosak vagyunk rá, hogy a „városit" a „mezőgazdasági" ellentétének tekintsük, ám abban a hosszabb perspektívában, amelyet ennek a könyvnek fel kell vennie, a városlakókat a földművesekkel egy kalap alá kell venni, szemben a vadászó-gyűjtögetőkkel. A város csaknem valamennyi élelmiszere valakinek a tulajdonában lévő, megművelt földekről származik – a régebbi időkben a város környéki földekről, a modern időkben a világ valamely részéről, amit a fogyasztás előtt közvetítők szállítottak és adtak tovább. A mezőgazdasági forradalom hamarosan szakosodáshoz vezetett. A fazekasok, a takácsok és a kovácsok szakértelmüket adták cserébe a mások által megtermelt élelemért. A mezőgazdasági forradalom előtt az élelmet nem tulajdonban lévő földön termelték meg, hanem a senki földjén zsákmányolták vagy gyűjtötték be. A pásztorkodás, az állatok közföldeken való legeltetése közbenső állomás lehetett.

Akár jobbat, akár rosszabbat is hozott, a mezőgazdasági forradalom vélhetően nem egy csapásra zajlott le. A gazdálkodás nem egy zseni, holmi neolitikumi Turnip Townsend hirtelen támadt mentőötlete volt. Először is a nyílt senki földjén a vadállatok vadászainak bizonyára meg kellett védeniük a vadászmezőt, vagy miközben nyomukban jártak, magukat a nyájakat a vetélytárs vadászoktól. Innét magától értetődő lépés volt a nyájak terelgetése, később legeltetése, végül karámba kerítése és beistállózása. Merem állítani, ezen változások egyike sem tűnt forradalminak, amikor sor került rájuk.

Eközben maguk az állatok is átalakultak – kezdetleges mesterséges szelekcióval „domesztikálódtak". Az állatok darwinista evolúciója fokozatos lehetett. Őseink mintegy véletlenszerűen változtatták meg az állatokra irányuló szelekciós nyomást anélkül, hogy kifejezetten házias kezelhetőségre irányuló tenyésztést folytattak volna. A nyájak genetikai állományában többé nem élvezett elsőbbséget a gyorsaság vagy a vadon egyéb túlélési készsége. A háziasított állatok egymást követő nemzedékei megszelídültek, egyre kevésbé voltak képesek magukról gondoskodni, viszont egyre jobban virultak és híztak a kipárnázott domesztikált körülmények között. A domesztikáció csábító párhuzamaiként kínálkoznak a társas hangyák és termeszek levéltetű-„nyájai" és gomba-„telepei". Minderről majd *A levélvágó hangya meséjé*ben hallunk, amikor a hangyazarándokok a 26. találkozáson csatlakoznak hozzánk.

A modern állat- és növénynemesítőkkel ellentétben a mezőgazdasági forradalom idején élt elődeink nem tudatosan, kívánatos tulajdonságokra irányulva űzték a mesterséges szelekciót. Kétlem, hogy felismerték, hogy a tejhozam növelése érdekében nagy tejhozamú tehenet kell egy másik nagy tejhozamú tehéntől született bikával párosítani, és ki kell selejtezni az alacsony hozamúak borjait. A domesztikáció véletlenszerű genetikai következményeiről szolgáltat némi fogalmat egy ezüstrókákon végzett orosz kísérlet.

D. K. Beljajev és munkatársai ezüstrókákat *(Vulpes vulpes)* fogtak be, és nekilátták, hogy rendszeresen szelídségre tenyésszék őket. Viharos sikert értek el. Azzal, hogy minden generációból a legszelídebb egyedeket párosították, Beljajevék 20 év alatt a skót juhászkutyákhoz hasonlóan viselkedő rókákat kaptak, amelyek buzgón keresték az ember társaságát, és közeledéskor csóválták a farkukat. Mindez nem meglepő, bár a sebesség, amellyel lejátszódott, talán igen. Ennél is kevésbé számoltak a szelídségre irányuló szelekció melléktermékeivel. Ezek a genetikailag szelíd rókák nem csupán úgy viselkedtek, mint a skót juhászok, de úgy is festettek. Fekete-fehér bundát növesztettek, fehér pofafoltokkal és orral. A vadróka jellegzetesen hegyes fülei helyett ezek „imádni való" lógó füleket fejlesztettek. Szaporodási hormonjaik egyensúlya megváltozott, és a tenyészidény helyett rátértek az egész éves párosodás szokására. A tudósok megállapították, hogy – talán lecsökkent agresszivitásuk miatt – több bennük az idegrendszerre ható szerotonin. Mindössze 20 év kellett, hogy a mesterséges szelekció rókákból „kutyákat" faragjon.*

* Susan Crockford kanadai régész az efféle változásokat két pajzsmirigyhormon megváltozott szintjének tulajdonítja.

A „kutyákat" idézőjelbe tettem, mert domesztikált kutyáink nem a rókáktól, hanem a farkasoktól származnak. Mellesleg Konrad Lorenz jól ismert fejtegetése, miszerint csupán néhány kutyafajta (köztük kedvence, a csau-csau) származik a farkasoktól, a többi a sakáloktól, ma már köztudottan téves. Lorenz elméletét a vérmérsékletről és a viselkedésről szóló elmés anekdotákkal támasztotta alá, ám a molekuláris rendszertan aduval üti az emberi éleselméjűséget, és a molekuláris bizonyítékok egyértelműen azt mutatják, hogy valamennyi mai kutyafajta a farkas, a *Canis lupus* leszármazottja. A kutyák (és a farkasok) legközelebbi rokonai a prérikutyák és a Simien „sakálok" (amelyeket, most úgy tűnik, Simien farkasoknak kellene nevezni). Az igazi sakálok (aranysakál, oldalt csíkos és fekete hátú sakálok) távolabbi rokonok, de még ők is a *Canis* nemzetség tagjai.

Nem kétséges, hogy a kutyáknak a farkasokból történő evolúciója annak idején hasonlított Beljajev rókás szimulációjához, azzal a különbséggel, hogy Beljajev szándékosan a szelídségre tenyésztett. Őseink szándékolatlanul tették ezt, méghozzá úgy, hogy talán egymástól függetlenül többször is sor került rá a világ különböző részein. A farkasok eleinte talán arra szoktak rá, hogy az emberi táborhelyek körül guberáljanak. Az emberek pedig esetleg a guberálókban kényelmes szemételtakarítókra leltek, no és éber őrökként, sőt meleg paplanként is becsülhették őket. Ha ez a barátságos forgatókönyv meglepetésként hangzik, gondoljunk csak bele, hogy a farkasok középkori legendáját, amelyben ők a mitikus szimbólumai az erdőből jövő fenyegetésnek, a tudatlanság szülte. Vad őseink, akik még nyitottabb tájon éltek, többet tudhattak erről. Sőt tényleg jobban tudták, hiszen sikerült háziasítaniuk a farkast, s ezáltal megteremtették a hűséges, megbízható kutyát.

A farkasok szemszögéből az emberi táborhelyek gazdag hulladékbányát biztosítottak egy hulladékevő számára. A dologból leginkább azok az egyedek húztak hasznot, akiknek szerotoninszintje és egyéb agyi tulajdonságai („szelídségre való hajlama") miatt történetesen fesztelenül érezték magukat az ember közelében. Jó néhány szerző spekulált elég hihetően az árván marad farkaskölyökökről, amelyeket a gyerekek játszótársaknak fogadtak. Kísérletek kimutatták, hogy a domesztikált kutyák jobban „olvasnak" az emberi arckifejezésekből, mint a farkasok. Feltételezhetően nem szándékos következménye ez a számos nemzedék óta tartó, kölcsönös jellegű evolúciónknak. Ugyanakkor mi is olvasunk az arcukból, és az emberek szán-

dékolatlan szelektálása következtében a kutyák arckifejezése is emberibbé vált, mint a farkasoké. Talán ezért gondoljuk, hogy a farkasok vészjóslóan, míg a kutyák kedvesen, bűntudatosan, könnyes szemekkel néznek és így tovább.

Távoli párhuzama ennek a japán „szamurájrák" esete. Ennek a vadon élő ráknak olyan minta van a hátán, amely egy szamuráj harcos arcára emlékeztet. A darwinista elmélet ezt úgy magyarázza, hogy a halászok visszadobták a tengerbe azokat a rákokat, amelyek kicsit is emlékeztettek egy szamuráj harcosra. Minthogy az emberi arcra emlékeztető géneknek nemzedékeken át nagyobb esélyük volt a túlélésre az „ő" rákjaik testében, az ilyen gének gyakorisága addig növekedett a populációban, amíg mára ez lett a normális. Függetlenül a rákok történetének igazságától, bizonyára valami hasonló zajlott le a valóban domesztikált állatok evolúciójában.

Térjünk vissza az orosz rókakísérlethez, amely érzékelteti, milyen gyorsan lejátszódhat a domesztikáció, és annak valószínűségét is, hogy a szelídségre irányuló szelekció egy sor véletlenszerű következménnyel járhat. Nagyon is valószínű, hogy a marhák, a disznók, a lovak, a juhok, a kecskék, a csibék, a ludak, a kacsák és a tevék hasonlóképpen gyors és nem várt mellékhatásokban éppily gazdag pályát jártak be. Az is valószínűnek tűnik, hogy a mezőgazdasági forradalmat követően mi magunk is a domesztikáció párhuzamos útját jártuk a szelídség melléktermékvonásokkal járó, sajátosan emberi változata felé.

Bizonyos esetekben saját domesztikációnk története tisztán a génjeinkbe íródott. Ennek klasszikus példáját, a laktóztoleranciát William Durham gondosan dokumentálta *Coevolution* (Együttes evolúció) című könyvében. A tej csecsemőétel, amit nem felnőtteknek „szántak", és eredetileg nem is volt jó nekik. A laktóz, vagyis a tejcukor megemésztéséhez egy bizonyosfajta enzimre, a laktázra van szükség. (Ezt a terminológiai megegyezést mindenesetre érdemes fejben tartani. Az enzimek nevét gyakran úgy képezzük, hogy az „-áz" képzőt hozzáillesztjük annak az anyagnak a nevéhez, amelyre hat.) A fiatal emlősök az elválasztási kort elérve kikapcsolják a laktáztermelő gént. Természetesen nem arról van szó, hogy nincs meg bennük ez a gén. A csak a gyermekkorban szükséges gének nem kerülnek ki a genomból, a génállományból, még a lepkék esetében sem, amelyek rengeteg olyan gént hordoznak, amelyekre csak a hernyóvá alakuláshoz van szükségük. Az embergyermekekben azonban a laktáztermelő gének egyéb szabályzógének hatására körülbelül négyéves korban kikapcsolódnak. A friss tej a felnőttekben rosszullétet okoz, amelynek tünetei a telítettségérzettől és a bélgörcsöktől a hasmenésig és hányásig terjedhetnek.

Valamennyi felnőttnél? Természetesen nem. Akadnak kivételek. Én közéjük tartozom, és az olvasónak is jó esélye van rá, hogy szintén. Általánosításom az emberi faj egészére vonatkozik, és hallgatólagosan arra a vad *Homo sapiens*re, akitől valamennyien származunk. Olyan ez, mintha csak azt mondtam volna: „A farkasok nagy, ádáz ragadozók, amelyek hordában vadásznak és ugatják a holdat", jól tudván, hogy a pekingik és a yorkshire terrierek rám cáfolnak. Az a különbség, hogy külön szavunk van a kutyára, a domesztikált farkasra, míg nincs külön szavunk a domesztikált emberre. Az emberiséggel kapcsolatban lévő nemzedékek következtében a domesztikált állatok génjei megváltoztak, miközben véletlenszerűen ugyanazon utat követték, mint az ezüstróka génjei. A háziasított állatokkal kialakított nemzedékekre visszanyúló kapcsolat következtében (bizonyos) emberek génjei is megváltoztak. Úgy tűnik, laktóztolerancia alakult ki néhány törzsnél, köztük a ruandai

tusziknál (és kisebb mértékben hagyományos ellenségeiknél, a hutuknál), a nyugat-afrikai fulani pásztoroknál (ám érdekes módon a fulanik letelepedett ágánál nem), az észak-indiai szindhiknél, a nyugat-afrikai tuaregeknél, az északnyugat-afrikai bedzsáknál és néhány európai törzsnél, amelyektől én és talán az olvasó is származunk. Ami figyelemre méltó közös vonás ezeknél a törzseknél, az pásztorkodó múltjuk.

A skála túlsó végén találjuk azokat a népeket, amelyek megőrizték a normál emberi laktózintoleranciát, köztük a kínaiakat, a japánokat, az inuitokat, a legtöbb észak-amerikai bennszülöttet, a jávaiakat, a Fidzsi-szigetek lakóit, az ausztrál őslakókat, az irániakat, a libanoniakat, a törököket, a tamilokat, a szingalézeket, a tunisziakat és számos afrikai törzset, így a dél-afrikai szanokat, evanákat, zulukat, xhoszákat és szvázikat, az észak-afrikai dinkákat és nuereket, valamint a nyugat-afrikai jorubákat és igbókat. Általában ezeknek a laktózintoleráns népeknek nincs pásztorkodó múltjuk. Akadnak azonban tanulságos kivételek. A kelet-afrikai maszájok hagyományos étrendje alig áll egyébből, mint tejből és vérből, és azt gondolnánk, hogy ők aztán különösen jól bírják a laktózt. Mégsem ez a helyzet, talán azért, mert elfogyasztása előtt megalvasztják a tejet. Miként a sajt esetében, a baktériumok jórészt így is eltávolítják a laktózt. Az egyik módja tehát annak, hogy megszabaduljunk rossz hatásaitól, ha megszabadulunk magától az anyagtól. A másik módszer, ha megváltoztatjuk a génjeinket. Ez történt a fentebb felsorolt többi pásztornép esetében.

Nyilván senki sem változtat gént szándékosan. A tudomány csak most kezdi felfedezni, hogyan is kell ezt csinálni. A munkát általában a természetes kiválasztódás végezte el számunkra, méghozzá évezredekkel ezelőtt. Hogy a természetes kiválasztódás miként hozta létre a felnőttkori laktóztoleranciát, nem tudom pontosan. Talán szorult helyzetekben a felnőttek csecsemőételhez folyamodtak, és azok az egyedek maradtak fenn inkább, akik ezt jobban tűrték. Meglehet, némelyik kultúra elodázta az elválasztást, és ilyen körülmények között a gyermekek túlélésére irányuló szelekció lassanként átcsúszott felnőtt toleranciába. Bárhogy is történt részleteiben, a változást, bármennyire genetikai volt is, a kultúra mozgatta. A szelídség és a magasabb tejhozam evolúciója a teheneknél, juhoknál és a kecskéknél párhuzamos az őket gondozó törzsek laktóztoleranciájával. Mindkettő valódi evolúciós folyamat volt, mivel megváltoztatták a populáció géngyakoriságát. Ám egyiket sem genetikai, hanem kulturális változások mozgatták.

A laktóztolerancia csak a jéghegy csúcsa lenne? Genomjaink teli lennének a domesztikáció rejtjeleivel, amelyek nem csupán biokémiánkat, hanem elménket is befolyásolják? Beljajev domesztikált rókáihoz és az általunk kutyáknak nevezett domesztikált farkasokhoz hasonlóan vajon mi is egyre szelídebbé és szeretetre méltóbbakká váltunk? Vajon van emberi változata a lelógó füleknek, a könnyes arcoknak és a farkcsóválásnak? Nem fejezem be a gondolatmenetet, inkább sietősen továbbállok.

Ahogy a vadászat átcsúszott a pásztorkodásba, a gyűjtögetés feltehetően hasonlóképpen csusszant át a növénytermesztésbe. Nem vitás, akadtak teremtő felfedező pillanatok, például amikor először észrevették, hogy ha az ember a magvakat a földbe teszi, olyan növényeket kap, mint amilyenből a magvak származtak. Vagy amikor valaki először felfigyelt arra, hogy jót tesz megöntözni, gyomtalanítani és trágyázni őket. Alighanem ennél nehezebben jöttek rá, hogy tanácsosabb a jó magvakat vetésre félretenni, mintsem a legjobbak elfogyasztásának és a selejt elvetésének magától értetődő útját követni (apám főiskolát végzett fiatalemberként az 1940-es

években gazdálkodást tanított közép-afrikai földműveseknek, és mint mondja, ezt a leckét sikerült szinte a legnehezebben megértetnie). A gyűjtögetőből a földművesre való átváltás az érintettek számára mégis többnyire éppúgy észrevétlenül ment végbe, mint a vadászból pásztorrá válás.

Mindennapi élelmiszernövényeink jó része, köztük a búza, a zab, az árpa, a rizs és a kukorica, a pázsitfűfélék családjába tartozik, amelyeket a mezőgazdaság hajnala óta a szándékolatlan, majd később a szándékos emberi szelekció jelentősen módosított. Az is lehetséges, hogy az évezredek során a tejtolerancia-evolúciónkhoz hasonlóan mi is fokoztuk a gabonaneműek iránti toleranciánkat. A keményítős gabonaneműk, mint a búza és a zab, a mezőgazdasági forradalom előtt nem játszhattak kiemelt szerepet étrendünkben. A narancstól vagy az epertől eltérően a gabonamagok nem „akarják", hogy megegyük őket. Az állatok emésztőrendszerén való áthaladás nem tartozik elterjedési stratégiájukhoz, mint a szilva- vagy a paradicsommagok esetében. A mi oldalunkról tekintve a kapcsolatot, az emberi emésztőcsatorna nem képes segítség nélkül sok tápanyagot felszívni a sovány keményítőkészletű és kemény, semleges héjú pázsitfűfélék magjából. Az őrlés és a sütés jelent némi segítséget, de az is elképzelhetőnek tűnik, hogy vad őseinkkel összevetve esetleg nagyobb fiziológiai toleranciát alakítottunk ki a búzával szemben, hasonlóan a tejtolerancia evolúciójához. A lisztérzékenység jól ismert probléma számos szerencsétlen egyén számára, akik keserű tapasztalatok útján jönnek rá, hogy jobban teszik, ha tartózkodnak tőle. A lisztérzékenység olyan vadászó-gyűjtögetők körében történő előfordulásának összehasonlító vizsgálata, mint a szanok és egyéb népek, akiknek ősei valaha ettek gabonát, nagyon árulkodó lehetne. Ha készült is olyan kiterjedtebb összehasonlító vizsgálat a lisztoleranciáról, mint a különböző törzsek laktóztoleranciájáról, azt nem ismerem. Az alkoholintolerancia rendszeres összehasonlító vizsgálata is érdekes lehetne. Ismeretes, hogy bizonyos genetikai allélok hatására a májunk nehezebben képes lebontani az alkoholt, mint szeretnénk.

Mindenesetre semmi új nem volt az állatok és táplálóknövényeik társevolúciójában. A legelő állatok még évmilliókkal azelőtt, hogy mi nekiláttunk volna a búza, az árpa, a zab, a rizs vagy a kukorica domesztikációjához, egyfajta jótékony darwinista szelekciót fejtettek ki a füvekre, miközben evolúciójukat a kölcsönös együttműködés felé terelgették. A füvek a legelő állatok jelenlétében virulnak, és ez vélhetően így van 20 millió éve, mióta pollenjeik először jelentkeztek a kövületekben. Persze nem arról van szó, hogy az egyes növényeknek valóban jót tesz, ha megeszik őket, de a füvek jobban tűrik, ha lelegelik őket, mint a rivális növények. Az ellenségem ellensége a barátom, és a füvek, még ha legelik is őket, gyarapodnak, amikor a növényevők (magukkal a füvekkel együtt) megeszik a többi növényt, amelyek a talajért, napért és vízért versenyben állnak velük. A füvek az évmilliók múlásával mindjobban gyarapodtak a vad szarvasmarhák, antilopok, lovak és egyéb legelő állatok (utóbb pedig a fűnyírók) jelenlétében. A növényevők pedig egyre jobban felszerelkeztek a fűtáplálékon való élésre, például specializált fogakkal és bonyolult tápcsatornával, amely mikroorganizmus-kultúrákat tartalmazó erjesztő medencéket foglal magában.

Nem ez az, amit rendesen domesztikáción értünk, de valójában nem esik távol tőle. Amikor mintegy 10 000 éve vad őseink a *Triticum* nemzetség vad fűféléit az általunk búzának nevezett növénnyé háziasították, ez bizonyos fokig annak a folytatása volt, amit számos növényevő fajta már 20 millió éve űzött a *Triticum*mal.

őseink felgyorsították a folyamatot, különösen amikor később a szándékolatlan, véletlenszerű domesztikációról a szándékos, tervezett, szelektív nemesítésre (és legújabban a tudományos hibridizációra és a génmanipulált mutációra) tértünk.

Ennyit kívántam mondani a mezőgazdaság eredetéről. Most, hogy időgépünk elhagyja a 10 000 éves határt, és a 0. találkozás felé tart, röpke időre még egyszer megállunk a körülbelül 40 000 évvel ezelőtti korban. Itt, a teljes egészében vadászó-gyűjtögetőkből álló emberi társadalom átesett a „nagy kulturális ugráson", amely még a mezőgazdaságinál is nagyobb forradalom volt. A nagy kulturális ugrás meséjét a crô-magnoni ember mondja el, akit arról a dordogne-i barlangról neveztek el, ahol a *Homo sapiens* eme fajtájának a kövületeit először megtalálták.

A CRÔ-MAGNONI MESÉJE

A régészet szerint 40 000 évvel ezelőtt valami különleges dolog történt fajunkkal. E vízválasztó előtt élt őseink anatómiailag nem különböztek tőlünk jobban, mint amennyire a világ más tájain élő kortársaiktól különböztek, vagy amennyire mi különbözünk kortársainktól. Ez a helyzet, ha anatómiailag nézzük őket. Ám ha kultúráikat nézzük, a különbség óriási. Természetesen ma is óriási különbség van a világ különböző népeinek kultúrái között, és talán akkor is így volt ez. Ez azonban nem volna igaz, ha a 40 000 évvel korábbi időbe megyünk vissza. Valami történt ekkor – sok régész elég váratlannak tartja ezt ahhoz, hogy csak „eseményként" emlegesse. Nekem Jared Diamond elnevezése tetszik: a Nagy Ugrás.

A Nagy Ugrás előtt az ember készítette tárgyak alig változtak egymillió év alatt. A ránk maradtak eszközök csaknem kizárólag meglehetősen durván megmunkált kőeszközök és -fegyverek. A fa (és Ázsiában a bambusz) kétségtelenül gyakrabban használt anyag volt, de faemlékek ritkán maradnak fenn. Ismereteink szerint nem léteztek festmények, vésetek, szobrocskák, nem voltak sírmellékletek, sem díszítés. Az Ugrás után és nem sokkal azelőtt, hogy a crô-magnoni emberek megalkották a Lascaux-barlang falfestményeihez hasonló káprázatos alkotásokat, mindezek egy csapásra bukkantak fel a régészeti anyagban, a csontfurulyához hasonló hangszerekkel együtt. Egy másik, távoli bolygó elfogulatlan megfigyelőjének szemében modern kultúránk számítógépestül, szuperszonikus gépestül és űrkutatástul együtt a Nagy Ugrás utánérzésének tűnhet. Igen hosszú geológiai időskálán az összes modern vívmányunk, a Sixtus-kápolnától a speciális relativitáselméletig, a *Goldberg-variációk*tól a Goldbach-sejtésig csaknem egyidejűnek tűnhet a willendorfi Vénusszal és a Lascaux-barlangokkal, mint amelyek ugyanannak a kulturális forradalomnak, a hosszú paleolitikus stagnálást követő, egyazon virágzó kulturális fellendülésnek a részei. Valójában nem vagyok biztos benne, hogy bolygóközi megfigyelőnk egyenlősítő nézete kiállná-e az alaposabb vizsgálat próbáját, de legalábbis rövid ideig védelmezhető lenne.

David Lewis-William *The Mind in the Cave* (Szellem a barlangban) című könyvében áttekinti a felső paleolitikus művészet teljes kérdéskörét, valamint azt is, mit tudhatunk meg ebből a *Homo sapiens* tudatosságának kivirágzásáról.

Némely szaktekintélyt annyira lenyűgöz a Nagy Ugrás, hogy úgy vélik, egybeesett a nyelv eredetével. Mi más lehetne felelős ily hirtelen változásért? – kérdik.



Valami rendkívül különleges kezdődött el... Ez a bikát ábrázoló festmény a franciaországi Dordogne Lascaux-barlangjainak egyik legdöbbenetesebb képe. Az 1940-ben felfedezett, állatokat ábrázoló festmények több mint 16 000 évesek. A képek az állati alak és mozgás mély megértéséről és kifinomult művészi érzékről tanúskodnak. A festmények célja ismeretlen.

Hogy a nyelv hirtelen bukkant fel, nem is akkora ostobaság, mint ahogyan hangzik. Senki nem gondolja, hogy az írás néhány ezer évnél korábbra nyúlna vissza, és mindenki egyetért abban, hogy az agy anatómiája nem változott azért, hogy alkalmazkodjék olyan közelmúltbeli találmányhoz, mint az írás. Elméletben a beszéd ugyanerre lehetne példa. Mégis, az a gyanúm, amit olyan nyelvészek tekintélye is alátámaszt, mint Steven Pinker, hogy a nyelv az Ugrásnál régebbi. Visszatérünk még erre a kérdésre az egymillió évvel korábbi múltban, amikor zarándoklatunk a *Homo ergaster*hez *(erectus)* ér.

Ha nem a nyelv, akkor a talán a Nagy Ugrás esett egybe annak váratlan felfedezésével, amit új szoftvertechnikának, esetleg egy új nyelvtani trükknek is nevezhetnénk. Ilyen trükk például a feltételes mód, amely egy csapásra lehetővé tette a „mi lenne, ha" képzelődés felvirágzását. Az is lehet, hogy az ugrás előtti, korai nyelv csak a jelen lévő dolgokról folytatott beszédet tette lehetővé. Meglehet, néhány elfeledett zseni jött rá arra a lehetőségre, hogy a szavakat olyan dolgok szimbólumaiként, utalásszerűen használják, amelyek nem voltak közvetlenül jelen. Ez a különbség megfelel „Az a vízgödör, amelyet mindketten látunk" és a „Tegyük fel, hogy egy vízgödör van a domb túloldalán" különbségének. Az is meglehet, hogy az Ugrás előtti régészeti leletekből teljes egészében hiányzó ábrázoló művészet volt az utaló nyelvhez átvezető híd. Talán az emberek előbb tanultak meg bölényt rajzolni, mint mielőtt megtanultak volna közvetlenül nem látható bölényekről beszélni.

Bármennyire is szeretnék elidőzni a Nagy Ugrás káprázatos korszakánál, hosszú zarándoklat vár még ránk, és igyekeznünk kell hátrafelé. Közeledünk ahhoz a ponthoz, ahol keresni kezdhetjük 0. köz-ősünket, valamennyi ma élő ember legutóbbi ősét.

0. TALÁLKOZÁS ■ AZ EGÉSZ EMBERISÉG

0

SZEMKÖZTI OLDAL

AZ EMBERISÉG
Az ember családfájának stilizált lenyomata. Nem pontos ábrázolásnak készült, hisz a valódi fa elképzelhetetlenül ágas-bogasabb lenne. A lapon lefelé visszafelé haladunk az időben a geológiai időskálán (lásd 18. oldal), amit a jobb szélső színes oszlopok érzékeltetnek. A fehér vonalak a kereszteződési mintákat jelzik, melyek sokszor kontinensköztiek, sőt alkalmi migrációval járóak. A számozott kör a 0. köz-ős, valamennyi ma élő ember legutóbbi közös ősét jelzi. Igazoljuk csak ezt a 0. köz-őstől felfelé haladó utakat követve: bármelyik mai emberi végponthoz eljuthatunk rajtuk.

A Humán Genom Projekt a joggal büszke emberiség éljenzésétől kísérve befejeződött. Bocsánatos, ha eltöprengünk azon, *kinek* a genomját rendezték sorba. Valamely illusztris méltóságot szemeltek ki a tisztségre, vagy egy tetszőleges járókelőt szúrtak ki az utcán, esetleg egy laboratóriumi szövettenyészet sejtjeinek névtelen klónjait? Nem mindegy, mert eltérőek vagyunk. Én barna szemű vagyok, míg az olvasó talán kék. Én nem tudom összecsücsöríteni a nyelvemet, míg 50 százalék az esélye annak, hogy az olvasó igen. A nyelvgörbítő gén melyik változata került a nyilvánosságra hozott emberi genomba? Melyik a kanonikus szemszín?

Csak a párhuzam kedvéért teszem fel a kérdést. Ez a könyv ős*einke*t követi vissza az időben, de vajon kinek az őseiről van szó: az olvasóéról vagy az enyémről, egy babmuti pigmeuséról vagy egy Torres-szorosi szigetlakóéról? Mindjárt rátérek a kérdésre. De előbb, ha már felvetettem a Humán Genom Projekt analógiáját, nem hagyhatom függőben. Kinek a genomját szemelték ki a vizsgálatra? A „hivatalos" Humán Genom Projekt esetében a válasz az, hogy ahhoz, hogy alacsony százalékban eltérő DNS-betűket kapjunk, a kanonikus genomot néhány száz ember többségi „szavazata" jelöli ki, akiket úgy válogattak össze, hogy a faji sokféleség megfelelő eloszlását kapjuk. A dr. Craig Venter által kezdeményezett rivális projekt esetében az elemzett genom leginkább… hát igen, dr. Craig Venteré volt. Ezt az illető, az etikai bizottság enyhe fejcsóválásától kísérve személyesen jelentette be,* pedig a bizottság melegen és megfontolandó okoknál fogva ajánlotta, hogy a különböző fajtákból összeválogatott donorok maradjanak névtelenek. Léteznek magának az ember genetikai változatosságának a vizsgálatára irányuló projektek is, amelyeket groteszk módon meg-megújuló politikai támadások érnek, mintha valamiként illetlenség volna beismerni azt, hogy az emberek különbözők. Pedig, hála istennek, azok vagyunk, ha nem is nagyon.

De most térjünk vissza fordított zarándoklatunkhoz! Ugyan kinek az őseit követjük? Ha elég messzire visszamegyünk, mindenki őse közös. Az olvasó, bárki legyen is, valamennyi őse az enyém, és az én összes ősöm az olvasóé is. Nem csupán nagyjából, hanem szó szerint. Ha belegondolunk, ez az egyik olyan igazság, amelynek nincs szüksége új bizonyítékra. A matematikusok *reductio ad absurdum* trükkjét alkalmazva puszta észérvekkel belátjuk ezt. Vigyük vissza képzeletbeli időgépünket mondjuk 100 millió évvel, abba a korba, amikor őseink a cickányokra vagy az oposszumokra hasonlítottak. Valahol abban az ősi világban legalább egy személyes ősömnek élnie kellett, különben nem lennék itt. Nevezzük ezt a bizonyos kis emlőst Henrynek (történetesen ez egy családnév). Azt igyekszünk bebizonyítani, hogy ha

* Amikor ez a csapat a kutya genomjának megfejtésével folytatta munkáját, nem keltett meglepetést, hogy a kitüntetett egyed dr. Venter saját, Árnyék nevű pudlija volt.

Az emberiség


0,02
0,03
0
Ω N

Henry az én ősöm, akkor szükségszerűen az olvasó őse is. Egy pillanatra képzeljük el ennek ellenkezőjét. Én Henrytől származom, az olvasó nem. Ahhoz, hogy ez igaz legyen, az olvasó ágának és az enyémnek a jelenig tartó 100 millió évnyi evolúció során egymás mellett kellett volna haladnia, egymással mégsem érintkezve, nem kereszteződve úgy, hogy mégis ugyanannál az evolúciós állomásnál kössenek ki – annyi hasonlóságot mégis megtartva, hogy az olvasó rokonai még képesek kereszteződni az enyéimmel. Ez a *reductio* nyilvánvalóan képtelenség. Ha Henry az én ősöm, akkor az olvasó őse is. Ha pedig nem az ősöm, akkor nem lehet az olvasóé sem.

Anélkül, hogy meghatároznánk a „kellően" hosszúságát, bebizonyosodott, hogy egy emberutódokkal rendelkező, kellően ősi egyed az egész emberiség őse kellett hogy legyen. Egy bizonyos, az emberi fajra hasonlatos utódcsoport hosszú távú rokonsága „mindent vagy semmit" kérdése. Másfelől az is teljességgel valószínű, hogy Henry az én ősöm (és szükségszerűen az olvasóé is, aki eléggé emberi ahhoz, hogy olvassa ezt a könyvet). Viszont Henry testvére, Erik, mondjuk valamennyi élő fokföldi tengerimalac őse. Ez nem csupán lehetőség. Figyelemre méltó tény, hogy a történelemben lennie *kellett* egy olyan pillanatnak, amikor egyugyanazon fajhoz tartozó két állat közül az egyik valamennyi ember ősévé, míg a másik valamennyi fokföldi tengerimalac ősévé vált. Nagyon is találkozhattak, sőt testvérek is lehettek. Áthúzhatjuk a fokföldi tengerimalacot, és kicserélhetjük bármelyik mai fajra, az állításnak igaznak kell maradnia.

Gondoljuk végig, és rájövünk, hogy ez abból a tényből következik, hogy mindegyik faj rokona a másiknak. Miközben így teszünk, ne feledjük, hogy a „minden fokföldi tengerimalacok őse" a tengerimalacok mellett számos teljesen különböző lény őse is (ebben az esetben az egész Afrotheriának nevezett csoport, amellyel a 13. találkozóhelyen találkozunk, az elefántokat, a dugongokat, a szirti borzokat és a madagaszkári sörtés sünöket is magában foglalja).

Okfejtésem a *reductio ad absurdum*ra épül, amely abból indult ki, hogy Henry elég régen élt ahhoz, hogy nyilvánvaló legyen: vagy tőle származik az összes ember, vagy nem származik tőle egy sem. Milyen hosszú az elég régen? Ez már nehezebb kérdés. Százmillió év több mint elég a keresett következtetés biztosításához. Ha viszont csak száz évet megyünk vissza, egyetlen egyén sem állíthatja, hogy az egész emberi faj a leszármazottja. A 100 és 100 millió év nyilvánvaló esetei közt, mit mondhatunk az olyan nem magától értetődő köztes értékekről, mint a 10 000, a 100 000 vagy az 1 millió év? A pontos számítások meghaladták a kapacitásomat, amikor a *Folyam az édenkertből* című művemben a *reductio*t kifejtettem, de szerencsére a Yale Egyetem statisztikusa, Joseph T. Chang legutóbb belevágott. Az ő következtetései és azok következményei képezik *A tasmaniai meséjét*, azt a mesét, amely különösen fontos ezen a találkozóhelyen, hiszen a 0. köz-ős a ma élő valamennyi ember legutóbbi közös őse. Chang számításainál még bonyolultabbakra van szükség ahhoz, hogy meghatározzuk a 0. találkozás időpontját.

A 0. találkozásra akkor kerül sor, amikor visszafelé vezető zarándoklatunkon *először* találkozunk közös emberőssel. Ám *reductio*nk szerint még messzebb a múltban van egy pont, amikor *minden* egyed, akivel időgépünk találkozik, vagy mindannyiunk közös őse, vagy nem ősünk egyáltalán. És bár ennél a távoli mérföldkőnél még nem tudunk egy bizonyos őst figyelmünk középpontjába állítani, de elhaladtunkban érdemes legalább biccenteni felé, hiszen azt a pontot jelöli, ahol felhagy-

hatunk az afölötti aggodalommal, vajon az olvasó ősét vagy az enyémet követjük-e. Attól a mérföldkőtől kezdve valamennyi olvasóm vállvetve, egyetlen zarándokfalanxot alkotva masírozik a múlt felé.

A TASMANIAI MESÉJE *(társszerző: Yan Wong)*

Az ősök utáni nyomozás szórakoztató időtöltés. Akár a történelem esetében, ennek is két módszere van. Haladhatunk visszafelé, sorra véve két szülőnket, négy nagyszülőnket, nyolc dédszülőnket és így tovább. Vagy kiszúrhatunk egy távoli őst, és annak gyermekeit, unokáit, dédunokáit számba véve előrefelé haladunk, míg el nem jutunk hozzánk. Az amatőr családfakutatók mindkettőt űzik, miközben nemzedékek közt hol hátra-, hol előrehaladnak, míg ki nem töltik a családfa hézagait annyira, amennyire az egyházi anyakönyvek és a családi Bibliák megengedik. Ez a mese, akár a könyv egésze, a visszafelé haladó módszerrel él.

Vegyünk két tetszőleges személyt, haladjunk visszafelé, s előbb-utóbb rábukkanunk a legutóbbi közös ősre. Az olvasó és én, a csőszerelő és a királynő, bármely páros egyetlen (vagy egyetlen pár) közös ősbe kell hogy összefusson. De ha nem közeli rokonokat választunk ki, a köz-ős megtalálásához igencsak terebélyes családfára van szükség, melynek nagy része ismeretlen marad. Ez vonatkozik *a forteriori* valamennyi ma élő ember köz-ősére. A 0. köz-ős, vagyis valamennyi ma élő ember legutóbbi közös őse korának meghatározása nem olyan feladat, amelyet egy gyakorló családfakutató felvállalhat. Minthogy valószínűség-számításról van szó, ez matematikusi feladat. Egy alkalmazott matematikus úgy próbálja megérteni a valódi világot, hogy felállítja annak egyszerűsített változatát – „modelljét". Ez megkönnyíti a gondolkodást, de nem veszíti el valóságmegvilágító erejét. A modell olyan alapállást biztosít, amelyről elrugaszkodva feltárul előttünk a valóságos világ.

Valamennyi ma élő ember közös ősének datálására szolgáló matematikai modell felvázolásakor jól hasznosítható egyszerűsítő feltevés – egyfajta játékvilág –, ha egy rögzített és állandó népességet veszünk, amely egy olyan szigeten él, ahová, illetve ahonnan nincs sem be-, sem kivándorlás. Legyen ez a tasmaniai őslakók idealizált népessége azon boldogabb időkben, mielőtt a tizenkilencedik századi telepesek mint holmi mezőgazdasági kártevőket kiirtották őket. Az utolsó tiszta vérű tasmaniai 1876-ban halt meg, röviddel barátját, „Billy Királyt" követően, akinek herezacskójából dohányos zacskót készítettek (lásd náci lámpaernyő). A tasmaniai őslakók mintegy 13 000 éve szigetelődtek el, amikor az Ausztráliához fűző földhidakat ellepte az emelkedő tenger. Ezután nem láttak idegent egészen tizenkilencedik századi holokausztjukig, de akkor aztán garmadával. Modellünk céljából úgy vesszük, hogy Tasmania 1800-ig, vagyis 13 000 éven keresztül tökéletesen elszigetelődött a világ többi részétől. Elvi „jelenünket" a modell céljából Kr. u. 1800-ban jelöljük ki.

A következő lépés a párosodás modellezése. A valódi világban az emberek szerelmesek lesznek vagy előre megbeszélt házasságokat kötnek, ám most modellezőink az emberi részleteket kíméletlenül könnyen kezelhető matematikával helyettesítik. Többféle párosodási modellt gondolhatunk el. A véletlenszerű diffúziós modellben azok a férfiak és nők, akik a részecskékhez hasonlóan szóródnak szét a szülőhelyükről,

nagyobb eséllyel ütköznek bele a közelebbi, mint a távolabbi szomszédjaikba. Ennél egyszerűbb és kevésbé valószerű modell a véletlenszerű párosodás modellje. Itt elfeledkezünk a távolságról, és egyszerűen azt feltételezzük, hogy szigorúan a szigeten belül bármely férfi és bármely nő egyforma valószínűséggel párosodhat.

Természetesen mindkét modell csak távolról valószínű. A véletlenszerű diffúzió azt feltételezi, hogy az emberek tetszőleges irányba haladnak kiindulópontjuktól A valóságban ösvények és utak vezérlik lépteiket: a sziget erdőit és mezőit átszelő keskeny géncsatornák ezek. A véletlenszerű párosodás modellje még kevésbé valósághű. De sebaj. Azért modellezünk, hogy lássuk, mi történik ideálisan leegyszerűsített feltételek között. Meglepő eredményt kaphatunk. Azután meg kell fontolnunk, vajon a valóságos világ ennél jobban vagy kevésbé meglepő, és milyen irányban.

Joseph Chang a matematikai genetikusok régi hagyománya szerint a véletlenszerű párosodást választotta. Állandó populációt feltételezve, modellje nem számol a populáció nagyságával. Nem kifejezetten Tasmaniával foglalkozott, de mi szándékos túlegyszerűsítéssel megint csak feltesszük, hogy játékpopulációnk ötezres, mely az egyik becslés szerint megfelel Tasmania őslakosságának 1800-ban, a mészárlás megindulása előtt. Meg kell ismételnem, hogy az ilyen egyszerűsítések a matematikai modellezés lényegét alkotják, s a módszernek nem annyira gyengéjét, mint inkább erősségét jelentik. Chang persze nem hiszi jobban, hogy az emberek véletlenszerűen párosodnak, mint Eukleidész hitte, hogy a vonalaknak nincs szélességük. Elvont feltételezéseket követünk, hogy meglássuk, hova lyukadunk ki, s aztán eldöntsük, számítanak-e a valóságos világtól való részletes eltérések.

Vajon így hány generációnyit kellene visszamennünk, hogy kellő biztonsággal találjunk olyan egyént, aki a jelenben élők mindegyikének őse volt? Az absztrakt modell alapján adott válasz a populációnagyság (kettes alapú) logaritmusa. Valamely szám kettes alapú logaritmusa az a szám, ahányszor meg kell szoroznunk kettőt önmagával, hogy megkapjuk az adott számot. Hogy megkapjuk az 5000-et, a 2-t körülbelül 12,3-szer kell megszoroznunk önmagával, így tasmaniai példánkban az elmélet szerint 12,3 nemzedéket kell visszamennünk, hogy megtaláljuk a köz-őst. Évszázadonként négy generációt feltételezve, ez kevesebb mint négy évszázad, sőt még kevesebb, ha az emberek 25 évesnél fiatalabb korukban nemzenek utódot.

„Chang-egynek" nevezem valamely meghatározott populáció legutóbbi közös ősének időpontját. Chang-egytől visszafelé haladva nem tart soká, hogy eljussunk ahhoz a ponthoz – ezt „Chang-kettőnek" nevezem –, ahol *mindenki* vagy közös ős, vagy egyáltalán nincs élő leszármazottja. Csupán a Chang-egy és a Chang-kettő közti rövid időszakban léteznek olyan átmeneti kategóriába tartozó emberek, akiknek van néhány élő utódjuk, de nem közös ősei mindenkinek. Meglepő következtetés az, hogy Chang-kettőnél milyen sokan egyetemes ősök: valamely nemzedék tagjainak 80 százaléka elméletileg az őse lesz minden távoli jövőben élő embernek.

Ami az időzítést illeti, nos, a matematika azt az eredményt adja, hogy a Chang-kettő körülbelül 1,77-szer régebbi, mint a Chang-egy. 1,77-szer 12,3 nem egészen 22 generációt tesz ki, kb. öt-hatszáz évet. Így, amint időgépünkkel körülbelül Geoffrey Chaucer Angliájának koráig érünk vissza Tasmaniában, a „minden vagy semmi" földjére kerülünk. Onnan továbbhaladva visszafelé, abba az időbe, amikor Tasmania még Ausztráliához tartozott, és minden véletlen kizárva, mindenki, akivel időgépünk találkozik, vagy az egész populáció őse lesz, vagy egyáltalán nincsenek

leszármazottai. Nem tudom, az olvasó hogy van ezzel, de én ezeket a számított időpontokat meglepően közelinek találom. Mi több, a következtetések nem sokat módosulnak, ha nagyobb populációt vizsgálunk. Ha a modellpopuláció a mai Britannia lélekszámával egyenlő, azaz 60 millió fő, akkor is csak 23 nemzedékre van szükség ahhoz, hogy eljussunk a Chang-egyhez és a legfiatalabb egyetemes ősünkhöz. Ha a modellt Britanniára vonatkoztatjuk, a Chang-kettő, amikor mindenki vagy őse valamennyi mai britnek, vagy egynek sem, csupán mintegy 40 generációnyira van, azaz Kr. u. 1000 táján. Ha a modell feltevései igazak (természetesen nem azok), akkor Nagy Alfréd király vagy valamennyi mai brit őse, vagy egyiknek sem.

Meg kell ismételnem kezdeti figyelmeztetésemet. Számos különbség van a „modell" és a „valódi" populációk között Britanniában, Tasmaniában vagy bárhol másutt. Britannia népessége a történelem folyamán meredek ütemben növekedett, amíg elérte jelenlegi méretét, és ez teljesen megváltoztatja a számításokat. Valamely valós populációban az emberek nem véletlenszerűen párosodnak. Előnyben részesítik saját törzsüket, nyelvcsoportjukat vagy tájegységüket, és természetesen mindenkinek vannak egyéni szempontjai is. Britannia történelme azzal bonyolítja a helyzetet, hogy bár földrajzilag sziget, népessége távolról sem elszigetelt. Európai betelepülők hullámai árasztották el az évszázadok alatt: köztük rómaiak, szászok, dánok és norvégok.

Tasmania vagy Britannia szigetek, ám a Föld is csupán egy nagyobb „sziget", hiszen nem érinti sem be-, sem kivándorlás (eltekintve azoktól, akiket földönkívüliek ragadnak el csészealjaikkal). Ugyanakkor szabálytalan módon kontinensekre és kisebb szigetekre is oszlik, amelyeket nem csupán a tengerek, de hegygerincek, folyók, sivatagok is szabdalnak, különböző mértékben akadályozva az emberek mozgását. A véletlenszerű párosodástól való bonyolult eltérések bonyolítják számításainkat, s nem is kis, hanem jelentős mértékben. A világ jelenlegi népessége 6 millió, de abszurd ötlet lenne a 6 millió logaritmusát venni, azt megszorozni 1,77-tel, és zsebre vágni a kapott Kr. u. 500-at a 0. találkozás időpontjaként. A valódi dátum jóval korábbi, ha másért nem, hát azért, mert az emberiség kisebb csoportjai jóval hosszabb ideig éltek elszigetelten, mint azok a nagyságrendek, amelyekkel most számolunk. Ha egy sziget 13 000 évig elszigetelődött, mint Tasmania, akkor lehetetlen, hogy az egész emberiségnek 13 000 évesnél fiatalabb egyetemes őse legyen. Még az alpopulációk részleges elszigeteltsége is nagy pusztítást visz végbe túlságosan takaros számításunkban, miként bármifajta nem véletlenszerű párosodás is.

A világ legelszigeteltebb népességei elszigetelődésének időpontja megszabja a 0. találkozás alsó határát. Ám hogy ezt az alsó határt komolyan vegyük, az elszigeteltségnek abszolútnak kell lenni. Ez következik a kapott 80 százalékos értékből, miként azt korábban már láttuk. Egy tasmaniai bevándorlónak, ha egyszer kellő mértékben befogadta a társadalom ahhoz, hogy normálisan szaporodhasson, 80 százalékos esélye van arra, hogy végül valamennyi tasmaniai közös ősévé váljon. Így még a csekélyke migráció is elegendő, hogy egy máskülönben elszigetelt népességet összekapcsoljon a kontinens népességével. A 0. találkozás időpontja tehát valószínűleg egyrészt annak időpontjától függ, amikor az emberiség leginkább elszigetelt csoportja elszigetelődött szomszédjától, másrészt annak időpontjától, amikor a szomszéd elszigetelődött az *ő* szomszédjától és így tovább. Néhány szigetugrásra szükségünk volna, mire összefűznénk valamennyi családfát, de még akkor is jó pár évszázaddal kellene vissza-

mennünk, mire rábukkannánk a 0. köz-ősünkre, s ez a 0. találkozást néhány tízezer évvel tolná vissza, bár vélhetően néhány százezer évnél nem tovább.

Az csaknem ilyen meglepő, hogy hol került sor a 0. találkozásra. Hajlanánk arra, hogy Afrikára gondoljunk, ahogy jómagam is tettem. Afrikában húzódnak az emberiségen belüli legmélyebb választóvonalak, úgyhogy logikus lépésnek tűnik, ha itt keressük valamennyi élő ember ősét. Jól mondták, hogy ha kitörölnénk a Szaharától délre fekvő Afrikát, elveszítenénk az ember genetikai változatosságának nagy részét, ugyanakkor kitörölhetnénk Afrika kivételével mindent, és nem sok minden változna. Ennek ellenére a 0. köz-ős nyugodtan élhetett Afrikán kívül is. A 0. köz-ős az a legutóbbi közös ős, aki egyesíti a földrajzilag leginkább elszigetelt populációkat – a példánknál maradva, mondjuk Tasmaniát – a világ többi részével. Ha feltesszük, hogy a világ többi része, Afrikát is beleértve, legalább egy kismértékben kereszteződött Tasmania teljes elszigeteltségének hosszú időszaka alatt, akkor Chang számításának logikája szerint akár arra is gyanakodhatunk, hogy a 0. köz-ős Afrikán kívül, valahol annak a kiindulópontnak a közelében élt, ahonnan azok a vándorok útra keltek, akiknek utódjaiból a tasmaniai bevándorlók lettek. Mégis az afrikai népcsoportok őrizték meg az ember genetikai változatosságának nagy részét. Ezt a látszólagos paradoxont a következő mesében oldjuk meg, amikor az emberek családfái helyett a génekét tárjuk fel.

Meglepő következtetésünk szerint a 0. köz-ős talán több tízezer évvel ezelőtt, nagy valószínűséggel Afrikán kívül élt. Általában egyéb fajoknak is viszonylag közelmúltbeli közös ősei vannak. Ám *A tasmaniai meséjé*nek nem csak ez a fejezete késztet bennünket arra, hogy új fényben vizsgáljuk meg biológiai eszméinket. Egy hivatásos darwinista számára ellentmondásnak tűnik, hogy valamely populáció 80 százalékából egyetemes ős legyen. Hadd magyarázzam meg. Az egyes szervezetekre általában úgy gondolunk, mint amelyek a „rátermettségnek" nevezett mennyiség lehető leghatékonyabb kihasználására törekszenek. A rátermettség jelentésén viták folynak. Egy kedvelt megközelítés szerint az „összes gyermekek számát" jelenti. Egy másik szerint az „összes unokát", de nincs egyértelmű oka annak, hogy megálljunk az unokáknál, így számos szaktekintély inkább azt mondja, hogy „a távoli jövő valamely pontjában élő összes utódot". Ám itt mintha problémánk jelentkezne, ha elméleti, idealizált populációnkban a természetes szelekció hiányában a populáció 80 százaléka számíthat arra, hogy eléri a lehetséges „rátermettség" maximumát: vagyis számíthat arra, hogy az egész népességet utódjaként könyvelheti el. A darwinista számára ez a lényeg, mert széles körben azt feltételezik, hogy a „rátermettség" éppen az, aminek maximalizálására minden állat állandóan törekszik.

Régóta érvelek amellett, hogy ami miatt egy organizmus egyáltalában kvázi céltudatos létezőként viselkedik – vagyis olyan létezőként, amely egyáltalában képes valaminek a maximalizálására –, az nem más, mint hogy olyan génekből épül fel, amelyek fennmaradtak az elmúlt nemzedékeken át. Fennáll a megszemélyesítés és a szándék tulajdonításának kísértése: az, hogy a „gén múltbéli fennmaradását" valamiféle a „jövőben való szaporodás szándékává" vagy „a sok jövendőbeli utód egyéni szándékává" alakítsuk. Hasonló megszemélyesítés a génekre is vonatkozhat: kísértést érzünk arra, hogy a génekre úgy tekintsünk, mint amelyek az egyedi testeket olyan viselkedésűre formálják, hogy növeljék a szóban forgó gének jövendő másolatainak a számát.

Az egyének és a gén szintjén egyaránt ilyen nyelvezetet használó tudósok jól tudják, hogy ez csupán metafora. A gének csupán DNS-molekulák. Holdkóros őrültnek kell lennie annak, aki azt gondolja, hogy az *„önző"* gének *valóban* megfontolt szándékkal törekszenek a fennmaradásra! Az ilyen beszédet azonban mindig visszafordíthatjuk a tisztességes nyelvezetre, ha ezt mondjuk: a világ azokkal a génekkel telítődik, amelyek fennmaradtak a múltban. Minthogy a világ bizonyos stabilitással bír, és nem kiszámíthatatlanul változik, a múltban fennmaradt gének azok, amelyek a jövőben is nagyobb eséllyel maradnak fenn, vagyis jók abban, hogy a testeket túlélésre, valamint gyermekek, unokák és távoli utódok nemzésére programozzák. Ezzel visszaérkeztünk a jövőbe tekintő alkalmasság egyedre épülő definíciójához. Ám most már felismerjük, hogy az egyedek csak a génfennmaradás járműveiként jönnek számításba. Az unokákkal és távoli utódokkal rendelkező egyedek csupán eszközök a génfennmaradás mint végcél számára. Ez viszont ismét visszavisz bennünket a paradoxonunkhoz. Így mintha a szaporodó egyedek 80 százalékával a plafonig volnánk telítve – a maximális alkalmasságra telített állapotban.

A paradoxon feloldása érdekében visszatérünk az elméleti alapokhoz: a génekhez. Egy újabb paradoxon felállításával közömbösíthetjük az elsőt, csaknem úgy, mint amikor két rossz kiadhat egy jót. Gondoljuk csak meg: egy bizonyos egyed a távoli jövőben az egész populáció egyetemes őse lehet úgy, hogy egyetlen génje sem marad fenn addig a jövendőig! Hogyan lehetséges ez?

Minden alkalommal, amikor valamely egyednek utódja lesz, génjeinek *pontosan* fele kerül át az utódba. Valahányszor unokája lesz, génjeinek *átlagosan* a negyede kerül át abba a gyermekbe. Ellentétben az első generációs utódokkal, ahol a hozzájárulás aránya pontos, az egyes unokáknál már csak statisztikai. Lehet negyednél több, de kevesebb is. Génjeink fele származik az apától, fele az anyától. Amikor gyermeket nemzünk, génjeink felét átadjuk neki. Ám génjeinknek vajon melyik feléről van szó? Átlagosan egyforma arányban kerülnek ki azok közül, amelyek eredetileg a gyermek nagyapjától, illetve amelyek a nagyanyjától származnak. Ám véletlenül *előfordulhat,* hogy teljes anyai génkészletünket átadjuk, viszont az apaiból semennyit. Ebben az esetben apánk nem adna át gént az unokájának. Természetesen ez a forgatókönyv erősen valószínűtlen, de minél távolibb utódokhoz jutunk, annál valószínűbbé válik a génkészlet teljes át nem adása. Átlagban arra számíthatunk, hogy dédunokánkban génjeink nyolcada, ükunokáinkban génjeink egytizenhatoda található, de ez lehet több is és kevesebb is. Így továbbhaladva eljutunk addig, míg egy bizonyos utódnál a hozzájárulás gyakorlatilag nulla valószínűségű.

Feltételezett tasmaniai populációnkban a Chan-kettő időpont 22 nemzedékkel ezelőttre került. Így, amikor azt állítjuk, hogy a populáció 80 százaléka számíthat arra, hogy őse legyen valamennyi élő egyénnek, akkor a 22. ük-ükunokanemzetségről beszélünk. Egy ős genomjának négymilliomod részének fellelésére számíthatunk 22. ük-ükunokájának valamelyikében. Mivel az emberi genomban csupán több tízezer gén van, úgy tűnhet, hogy ez a négymilliomod rész bizony elég soványka lehetőség! Ez persze nem egészen így lesz, hiszen Tasmaniánk feltételezett népessége csak 5000 fő. Valamely egyed egy bizonyos őstől számos különféle úton származhat. Ám ennek ellenére, véletlenül mégis könnyen megtörténhet, hogy némelyik egyetemes ős egyetlen génjét sem adja át a távoli utódoknak.

Meglehet, elfogult vagyok, de ebben újabb okát látom annak, hogy visszatérjünk a génhez mint a természetes szelekció gyújtópontjához: hogy visszafelé gondolkodjunk a jelenig fennmaradt génekről ahelyett, hogy előre gondolkodnánk a jövőben fennmaradni igyekvő egyedekről vagy génekről. Az „előrevetített célzatos" gondolkodási stílus hasznos lehet, ha csínján bánunk vele, és nem értjük félre, de nem feltétlenül van rá szükségünk. A „visszamenő gén" nyelvezet éppoly szemléletes, ha hozzászokunk, közelebb áll az igazsághoz, és kisebb valószínűséggel eredményez téves választ.

*A tasmaniai meséjé*ben genealógiai ősökről, azaz olyan történelmi egyénekről volt szó, akik hagyományos genealógiai értelemben ősei voltak a mai embereknek, vagyis „emberelődök" voltak. Ám amit megtehetünk az emberekkel, azt megtehetjük a génekkel is. A géneknek is vannak szülő génjei, nagyszülő génjei és dédszülő génjei. A géneknek is van pedigréjük, családfájuk, „legutóbbi közös ősük". A géneknek is megvan a maguk 0. találkozásuk, és itt aztán tényleg elmondhatjuk, hogy a gének többségének 0. találkozóhelye Afrika volt. Ez a feltűnő ellentmondás némi magyarázatot igényel, úgyhogy ez lesz a célja *Éva meséjé*nek.

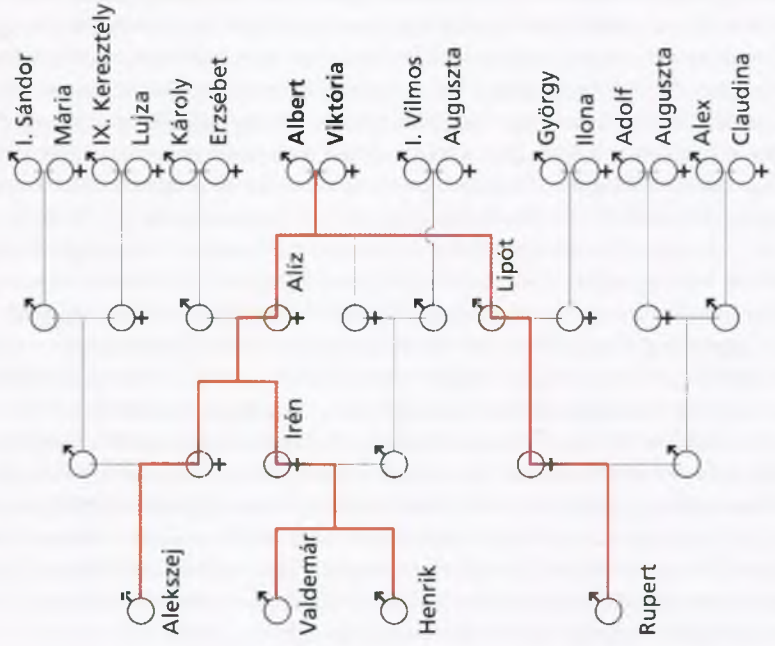
Mielőtt továbbmennék, tisztáznom kell néhány esetleges félreértést a *gén* szó jelentésével kapcsolatban. Sok mindent jelenthet a különböző embereknek, de itt elsősorban a következő félreértés fenyeget. Egyes biológusok, különösen a molekuláris genetikusok, a *gén* szót szigorúan a kromoszómán található helyre *(locus)* korlátozzák, és az *allél* szót használják a gének azon változataira, amelyek elfoglalhatják az adott locust. Egy túlegyszerűsített példával élve a szemszín génje különféle változatokban, vagyis allélokban fordul elő, így például a kék allélban vagy a barna allélban. Más biológusok, különösen az a fajta, amelyhez én is tartozom, és akiket olykor szociobiológusoknak, viselkedésökológusoknak vagy etológusoknak is neveznek, hajlanak arra, hogy a *gén* szót az *allél*lal azonos értelemben használják. Amikor arra a kromoszómarésre keresünk szót, amelyet valamely allélszekvencia kitölthet, akkor többnyire a *locus* szóhoz folyamodunk. A hozzám hasonlóak hajlamosak az efféle beszédre: „Képzeljünk el egy gént, amely a kék szemnek és egy riválisgént, amely a barna szemnek felel meg." Ez nem minden molekuláris biológusnak tetszik, de a hozzám hasonló biológusok között bevett dolog, és én történetesen őket követem.

Éva meséje *(társszerző: Yan Wong)*

Sokatmondó különbség van a „génfák" és az „emberfák" között. Az embertől eltérően, aki két szülőtől származik, a génnek csak egy szülője van. Minden egyes génünk vagy az anyánktól, vagy az apánktól, egyik és csakis egyik nagyszülőnktől, egyik és nyolc dédszülőnk közül csakis az egyiktől származik és így tovább. Ám amikor az emberek hagyományos módon követik nyomon az őseiket, egyformán származnak a két szülőtől, a négy nagyszülőtől, a nyolc dédszülőtől és így tovább. Ez azt jelenti, hogy az emberi leszármazás jóval bonyolultabb, mint a gének „leszármazása". Bizonyos értelemben egy gén egyetlen kiválasztott ösvényt követ az (emberi) családfán feltüntetett szövevényes útvesztőben. A családnevek úgy viselkednek, mint a gének, nem úgy, mint az emberek. Családnevünk egy vékony vonalat követ a teljes család-

fán keresztül. Ez a férfiról férfira követhető rokonságot emeli ki, míg a DNS két nevezetes kivételtől eltekintve – amelyekre később térek ki – nem olyan szexista, mint a családnevek: a gének azonos valószínűséggel követik férfi és női elődeiket.

Az európai királyi családok családfái a legjobban dokumentált családfák közé tartoznak. A Szász-Coburg-ház alábbi családfáján különösen Alekszej, Valdemár, Henrik és Rupert hercegeket vegyük szemügyre. Egyik génjük „génfáját" különösen könnyű követnünk, mivel az ő szerencsétlenségükre, ám a mi szerencsénkre az érintett gén hibás volt. Ez a gén adta a négy hercegnek és ebben a szerencsétlen családban még sokaknak a könnyen felismerhető vérbetegséget, a vérzékenységet: vérük nem alvadt kellő mértékben. A vérzékenység különös módon öröklődik: az X-kromoszóma hordozza. A férfiaknak csak egy X-kromoszómájuk van, amit az anyjuktól örökölnek, a nőknek kettő, melyek egyikét az anyától, a másikát az apától öröklik. Csak akkor szenvednek ebben a betegségben, ha a gén hibás változatát mind az anyától, mind az apától örökölték (vagyis a vérzékenység „lappangó"). A férfiak akkor szenvednek ebben a betegségben, ha „védtelen" X-kromoszómájuk hordozza a hibás gént. Éppen ezért rendkívül kevés nő szenved vérzékenységben, de annál többjük „hordozó". A hibás gén egy másolata bennük van, és 50 százalék az esélye annak, hogy ezt továbbadják mindegyik gyereküknek. A várandós hordozó nők mindig lányban reménykednek, de még ekkor is jelentős a vérzékeny unokák esélye. Ha egy vérzékeny férfi elég sokáig él ahhoz, hogy gyermekei legyenek, fiúra nem adhatja át a gént (a férfiak soha nem az apjuktól kapják X-kromoszómájukat), de elkerülhetetlenül továbbadják a lánynak (a nők mindig megkapják apjuk egyetlen X-kromoszómáját). E szabályok ismeretében, és tudván azt, melyik királyi férfi sarj szenvedett vérzékenységben, nyomon követhetjük a hibás gént. Íme, itt a fordított családfa, kiemelve rajta azt az utat, amelyet a vérzékenység génjének meg kellett tennie.



Vérvonalak a balsors sújtotta Szász-Coburg-házban

Úgy tűnik, maga Viktória királynő volt a mutáns, nem Albert, mert Albert fia, Lipót herceg vérzékeny volt, viszont a fiúk X-kromoszómájukat nem az apjuktól örökölik. Viktória oldalági rokonai közül senki sem szenvedett vérzékenységben. Ő volt az első királyi személy, aki hordozta a gént. A hibás másolat vagy anyjának, Szász-Coburg Viktóriának valamely petesejtjében, vagy, ami ennél olyan okoknál fogva valószínűbb, amelyeket kollégám, Steve Jones a *The Language of the Genes* (A gének nyelve) című könyvében fejt ki, „apjának, Edwardnak, a kenti hercegnek magasztos heréiben keletkezett".

Bár Viktória egyik szülője sem hordozta a vérzékenységet, és nem is szenvedett benne, de egyiküknek volt egy génje (szorosabb értelemben egy allélja), amely előmutáns „szülője" volt a királyi vérzékenység génjének. Viktória vérzékenységgénjének megnyilvánulása előtti eredetén eltöprenghetünk (bár ki nem nyomozhatjuk). Számunkra mellékes – még ha diagnosztikai szempontból nem is –, hogy a gén Viktóriában lévő másolata betegséget hordozott, míg elődeié nem. A gén családfájának visszakövetésekor nem vesszük figyelembe a hatásait, csak ha láthatókká válnak. A gén eredetének vissza kell nyúlnia Viktória előttre, de a látható nyom kihűl, ha az nem a vérzékenység génje. A tanulság az, hogy minden génnek egy szülő génje van, még akkor is, ha az mutáció miatt nem azonos magával a szülő génnel. Hasonlóképpen csak egy nagyszülő génje van, csak egy dédszülő génje és így tovább. Elég furcsának tűnhet ez, de ne feledjük, hogy ősvadászati zarándoklatra indultunk. Mindez arra szolgált, hogy megértsük, hogyan fest egy ősvadászati zarándoklat nem valamely egyén, hanem egy gén szemszögéből.

*A tasmaniai meséjé*ben találkoztunk a legutóbbi *közös ős* kifejezéssel mint a *köz-ős* szinonimájával. A *köz-ős* szót szeretném fenntartani az egész genealógia (emberek vagy szervezetek) legutóbbi közös ősének. Úgyhogy a génekről beszélve a *legutóbbi közös ős* kifejezést használom. Különböző egyének két vagy több alléljának (sőt, mint majd látni fogjuk, ugyanazon egyénének is) van egy legutóbbi közös őse. Ez az a gén, amelynek valamennyien (feltehetően mutáns) másolatai. Valdemár herceg és Poroszországi Henrik vérzékenységi génjeinek legutóbbi közös őse anyjuk, Irene von Hesse und bei Rhein két X-kromoszómájának egyikén ült. Az általa hordozott vérzékenységgén két másolata még magzat korában levált, és egymás után rátevődött két petesejtjére, szerencsétlen fiai elődjeire. Ezeknek a géneknek viszont az orosz cárevics, Alekszej (1904–1918) vérzékenységi génjével volt egy legutóbbi közös ősük, nagyanyjuk, a hesseni Alíz hercegnő által hordozott gén formájában. Végezetül, a négy kiválasztott hercegünkben lévő vérzékenységi gén legutóbbi közös őse az volt, amelyik először irányította magára a figyelmet: magának Viktóriának a mutáns génje.

A genetikusoknak külön szavuk van az ilyen visszafelé kinyomozott génre: egyesítőnek *(coalescens)* hívják. Időben visszapillantva, annál a pontnál mondhatjuk, hogy két génvonal egyesül, amelynél, ha újra előrepillantunk, valamely szülő a gén két másolatát továbbadja két gyermekének. Az egybeolvadási pont a legutóbbi közös ős. Minden génfának számos egybeolvadási pontja van. Valdemár és Henrik vérzékenységi génjei anyjuk, Irén által hordozott legutóbbi közös ős génben olvadna össze. Ez azután az Alekszej cárevicstől visszainduló vonallal olvad össze. Majd, miként láttuk, valamennyi királyi vérzékenységi gén nagy összeolvadására Viktória királynő vérzékenységi génjeiben kerül sor. Az ő genomja őrzi az egész dinasztia vérzékenységi génjének legutóbbi közös ősét.

Példámban mind a négy herceg vérzékenységi génjeinek egyesítő génje ugyanabban az egyénben (Viktóriában) bukkant fel, aki történetesen legutóbbi közös *genealógiai* („emberi") ősük, azaz köz-ősük is volt. Ám ez csupán véletlen. Ha másik gént választanánk (mondjuk a szemszínét), akkor annak a családfán megtett útja teljesen más lenne, és a gének egy Viktóriánál jóval távolabbi ősben olvadnának egybe. Ha egy, Rupert herceg barna szeméért felelős gént és egy, Henrik herceg kék szeméért felelős gént választanánk ki, akkor az egybeolvadásnak legalább olyan régen kellett végbemennie, mint amikor az ősök szemszíngénjei kétfélére – kékre és barnára – váltak szét, mely esemény az őstörténet homályába vész. Minden DNS-darabkának megvan a genealógiája, amely eltérő, ugyanakkor párhuzamos is azzal a genealógiával, ahol családneveket követünk a születési, házassági és halotti anyakönyvekben.

Megtehetjük ezt ugyanazon személy két azonos génjével is. Károly herceg kék szemű, ami – mivel a kék szemszín recesszíven öröklődik – azt jelenti, hogy két kékszem-allélja van. Ennek a két allélnak valahol a múltban egybe kell olvadniuk, de hogy mikor vagy hol, azt nem tudjuk megmondani. Lehetett ez évszázadokkal vagy évezredekkel ezelőtt, de Károly herceg különleges esetében lehetséges, hogy a két kékszem-allél Viktória királynő személyében olvad egybe. Ez történetesen úgy fordulhat elő, hogy Károly herceg két úton származik Viktóriától: egyrészt VII. Edward királyon, másrészt a hesseni Alíz hercegnőn keresztül. Az elmélet szerint Viktória egyetlen kékszem-génje két különböző időpontban két másolatot készített magáról. Ugyanannak a génnek e két másolata átkerült a jelenlegi királynőre (VII. Edward dédunokájára) és férjére, Fülöp hercegre (Alíz hercegnő dédunokájára). Viktória ugyanazon génjének két másolata tehát két különböző kromoszómán találkozhatott újra Károly hercegben. Valójában ez csaknem biztosan megtörtént némely génjével, akár a kék szemért felelőssel, akár nem. Ugyancsak tekintet nélkül arra, hogy két kékszem-génje Viktória királynőben olvad-e egybe, vagy valakinél a távolabbi múltban, annak a két génnek egy bizonyos ponton kell hogy legyen legutóbbi közös őse. Mindegy, hogy egy ember (Károly) vagy kettő (Rupert és Henrik) két génjéről beszélünk-e: a logika ugyanaz. Bármely, különböző személyekben vagy ugyanabban lévő két allél éppúgy alkalmas a kérdés feltevéséhez: Ha visszapillantunk, mikor és kiben olvadnak egybe ezek a gének? Bővítéssel ugyanazon populáció egyazon genetikai helyen (locuson) lévő bármelyik három génjével vagy tetszőleges számú génjével kapcsolatban is feltehetjük ezt a kérdést.

Ha még távolabbra pillantunk vissza, különböző locusok génpárjaira is rákérdezhetünk, mivel a gének a „génkettőződés" eljárásával más locuson is géneket hívnak életre. *A bőgőmajom meséjé*ben és *Az ingola meséjé*ben újra találkozunk majd ezzel a jelenséggel.

Közeli rokonokban nagyszámú *génfa* közös. Génfáink többsége közös közeli rokonainkkal. Néhány génfánk azonban „kisebbségi szavazat" útján közelebb helyez bennünket amúgy távolibb rokonainkhoz. Az *emberek* közti rokonságfokot a gének egyfajta többségi szavazásának is tekinthetjük. Némelyik génünk mondjuk a Királynőre szavaz közeli rokonaként. Mások úgy vélekednek, hogy látszólag jóval távolibb egyedekhez állunk közel (mint majd látni fogjuk, akár más fajhoz tartozókhoz is). Ha firtatjuk, minden DNS-részlet saját véleményt alkot arról, hogy miről is szól a történelem, mivel mindegyik más és más ösvényt világított be a

nemzedékeken át. Átfogó képben csak akkor reménykedhetünk, ha nagyszámú génre kérdezünk rá. Ezen a ponton azonban gyanakodnunk kell a kromoszómán egymáshoz túl közel elhelyezkedő génekre. Hogy megértsük, miért, nem árt, ha van némi fogalmunk a rekombináció jelenségéről, amelyre mindannyiszor sor kerül, valahányszor elkészül egy sperma vagy egy pete.

A rekombináció során az egymáshoz illő DNS találomra kiválasztott részei cserélődnek ki a kromoszómák között. Átlagban egy vagy két csere fordul elő emberi kromoszómákként (spermakészítéskor kevesebb, petekészítéskor több, de nem tudjuk, miért). Viszont számos nemzedéken keresztül végül a kromoszóma sok különböző része cserélődik ki így. Általában minél közelebb van egymáshoz két DNS-részlet a kromoszómán, annál kisebb az esélye, hogy cserére kerül sor köztük, és annál valószínűbb, hogy együtt fognak öröklődni.

Amikor tehát „szavazatokat" szedünk a génektől, jusson eszünkbe, hogy minél közelebb fekszik egymáshoz valamely génpár a kromoszómán, annál nagyobb esélyel élik át ugyanazt a történelmet. Ez viszont arra motiválja a közeli kollégákat, hogy támogassák egymás szavazatát. Szélső esetben vannak oly szorosan összefonódó DNS-darabok, hogy az egész darab egyetlen egységet alkotva szelte át a történelmet. Ezek az útitárs darabok haplotípusokként ismeretesek, és még találkozni fogunk ezzel a kifejezéssel. A genetikai parlamenten belüli eme frakciók közül kettő ötlik szembe, nem azért, mert történelemszemléletük érvényesebb, hanem mert széleskörűen használják őket biológiai viták eldöntésére. Mindkettő szexista véleményt képvisel, hiszen az egyik kizárólag női szervezetben hagyományozódott tovább, a másik viszont sohasem fordult elő férfiszervezeten kívül. Ez a különben elfogulatlan génöröklődés korábban már említett két fő kivétele.

Az Y-kromoszóma (nem rekombinálódó) része a családnévhez hasonlóan mindig kizárólag csak a hím vonalon adódik tovább. Néhány másik génhez hasonlóan az Y-kromoszóma tartalmazza azt a genetikai anyagot, amely egy embriót inkább a hím, mint a női fejlődési mintára állít. A mitokondriális DNS viszont kizárólag a női vonalon adódik tovább (bár ez esetben nem ez alakítja az embriót nővé; a hímeknek is vannak mitokondriumaik, csupán nem adják őket tovább). Mint majd a Nagy Történeti Találkozás alkalmával kiderül, a mitokondriumok sejten belüli parányi szervezetek, egykor szabad baktériumok maradványai, akik – talán 2 milliárd éve – kizárólag a sejten belül ütötték fel a sátorfájukat, ahol azóta is szaporodnak, nem ivarosan, hanem egyszerű osztódással. Baktériumos tulajdonságaik közül sokat elveszítettek, akárcsak DNS-ük zömét, de annyit megtartottak, hogy hasznosak legyenek a genetikusoknak. A mitokondriumok a genetikai szaporodás független ágát alkotják a testünkön belül, és ez nincs kapcsolatban azzal a központi vonallal, amelyre „saját" génjeink kapcsán gondolunk.

Mutációs arányuk következtében az Y-kromoszómák a leghasznosabbak a jelenlegi populációk vizsgálatakor. Egy jól sikerült vizsgálatban Y-kromoszóma DNS-mintákat vettek a mai Britanniát átszelő egyenes mentén. Az eredmények azt mutatták, hogy az angolszász Y-kromoszómák Európa felől nyugatnak tartva szelték át Angliát, és elég hirtelen megálltak a walesi határon. Nem nehéz elképzelni, hogy ez a hímek hordozta DNS miért nem jellegzetes a maradék genomban. Egy még szemléletesebb példa, hogy a viking hajók Y-kromoszóma-szállítmányokat (és egyéb géneket) hoztak és terjesztettek el az erősen szétszórt lakosság körében.

A viking Y-kromoszóma-gének eloszlása ma feltehetően ezeket kissé „világlátottabbnak" mutatja, mint más viking géneket, amelyek jobban kedvelték a honi földet, mint az Özvegygyártót:

„Micsoda asszony, akit elhagysz,
no és a kandalló és a honi föld,
csak hogy kövesd az ősz Özvegygyártót?"
RUDYARD KIPLING: *Dán asszony hárfadala*

A mitokondriális DNS is árulkodó lehet, különösen a nagyon ősi minták szempontjából. Ha összevetjük az olvasó mitokondriális DNS-ét az enyémmel, megállapíthatjuk, mikor volt közös mitokondriális ősünk. Ráadásul mivel mitokondriumainkat anyánktól kapjuk, így anyai nagyanyánktól, dédanyánktól és így tovább, a mitokondriumok összehasonlítása megmondja, mikor élt legutóbbi nőági ősünk. Ugyanez megtehető az Y-kromoszómákkal, hogy megtudjuk, mikor élt legutóbbi hím ági ősünk, ám ez technikai okokból nem ilyen egyszerű. Az Y-kromoszómás és a mitokondriális DNS szépsége az, hogy egyikük sem szennyeződik az ivaros keveredés során. Ez teszi könnyűvé az ősök e különleges osztályának követését.

Az egész emberiség legutóbbi közös mitokondriális ősét, amely hajszálpontosan kijelöli az összes női ág „emberi" közös ősét, olykor Mitokondriális Évának is nevezzük – éppen az ő meséje ez. Természetesen az ő összes férfi ági megfelelőjét Y-Kromoszómás Ádámnak is nevezhetnénk. Valamennyi emberhímnek Ádám Y-kromoszómája van (teremtéshívők szíveskedjenek tartózkodni a szándékos félreidézéstől). Ha a családnevek mindig szigorúan a mai szabályok szerint öröklődtek volna, akkor ma valamennyiünket Ádámnak hívnának, ami persze meglehetősenn okafogyottá tenné azt, hogy családnevünk legyen.

Éva könnyen botlásra csábíthat, ezért nem árt előre felfegyverkezni. A tévedések tanulságosak. Először is fontos megértenünk, hogy Ádám és Éva csak kettő azon legutóbbi közös őseink sokaságából, akikhez eljuthatnánk, ha utunkat különböző ágakon követnénk visszafelé. Ők azok a különleges közös ősök, akiket anyáról anyára, illetve apáról apára követnénk visszafelé. Ám sok más útja is van a családfán felfelé haladásnak: anyáról apára apára anyára vagy anyáról anyára apára apára és így tovább. E különböző lehetséges útvonalak mindegyike különböző legutóbbi közösbe torkollna.

Másfelől, Éva és Ádám nem alkottak párt. Roppant véletlen egybeesés lenne, ha találkoztak volna, hiszen az is meglehet, hogy tízezer évek választják el őket. Mellékesen más okoknál fogva joggal hihetjük, hogy Éva megelőzte Ádámot. A férfiak szaporodási sikere változékonyabb, mint a nőké. Míg némely nőnek ötször annyi gyermeke van, mint más nőknek, addig a legsikeresebb férfiaknak több százszor is annyi gyermeke lehet, mint a sikertelen férfiaknak. Egy nagy háremmel bíró férfi könnyen válhat egyetemes őssé. Egy nőnek, mivel kevesebb valószínűséggel van nagy családja, sok generációra van szüksége ugyanezen bravúr megvalósításához. És valóban: a mai legjobb „molekuláris órák" Éva esetében 140 000 évvel ezelőtti, míg Ádám esetében csupán 60 000 évvel ezelőtti becsült időpontot mutatnak.

Harmadrészt, Ádám és Éva nem meghatározott egyének neveit, hanem tiszteletbeli címeket jelölnek. Ha holnap valamely isten háta mögötti törzs utolsó tagja

meghalna, Ádám és Éva stafétabotja hirtelen több ezer évvel előbbre lendülne. Ugyanez igaz a különböző génfák által kijelölt összes legutóbbi közös ősre is. Hogy megértsük, miért is van ez így, tegyük fel, hogy Évának két lánya volt: mondjuk egyiküktől származnak a tasmaniai őslakók, míg a másiktól eredt az emberiség többi része. Ugyancsak feltételezzük, egyébként teljesen hihetően, hogy „az emberiség többi részét" egyesítő női ágú legutóbbi közös ős 10 000 évvel később élt, és a tasmaniaiak kivételével az Évától származó valamennyi oldalág kihalt. Amikor Truganinni, az utolsó tasmaniai meghalt, Éva címe azonnal előreugrott volna 10 000 évvel.

Negyedszer, saját korukban semmi különösebb figyelemre méltó vonás nem különböztette volna meg sem Ádámot, sem Évát. Legendás névrokonaiktól eltérően Mitokondriális Éva és Y-kromoszómás Ádám nem voltak különösebben magányosak. Mindkettőjüknek számos társa volt, és bizonyára sok szexuális partnerük is lehetett, akikkel túlélő utódokat is nemzhettek. Ami egyedül megkülönbözteti őket, az nem egyéb, minthogy utóbb Ádám férfi ága, míg Éva női ága bizonyult utódokkal bőven megáldottnak. Kortársaik közül mindent egybevetve másoknak is nyugodtan lehetett annyi utódja.

Miközben épp ezt írom, valaki megküldte a *Motherland* (Szülőföld) című BBC-dokumentumfilm videokazettáját, amit azzal reklámoztak, hogy „megrendítően szívbe markoló film", „egy valóban gyönyörű, igazán emlékezetes darab". A film három „fekete"* hősének családjai Jamaicából vándoroltak be Britanniába. DNS-üket összevetették az egész világra kiterjedő adatbankkal, hogy megpróbálják kideríteni Afrikának azt a részét, ahonnan őseiket rabszolgaként elvitték. A produkciós cég ezután érzelgős „újraegyesítési" jeleneteket vett filmre hőseink és rég elveszett afrikai családjaik között. Y-kromoszómákat és mitokondriális DNS-t használtak, mert, mint láttuk, ezek jobban nyomon követhetők, mint általában a gének. Ám sajnálatosan a producerek igazán soha nem tisztázták ennek korlátait. Sőt, amikor nyilván tisztán televíziós okokból, sokkal jobban elérzékenyítették őket ezektől az újraegyesítésektől, mint amennyire jogukban állt volna, közel kerültek ahhoz, hogy ténylegesen becsapják a főhősöket, rég elvesztett afrikai „rokonaikkal" együtt.

* Hogy a „fekete" szót miért tettem idézőjelbe, *A sáska meséjében* magyarázom meg.

Hadd magyarázzam el. Amikor Mark, aki később a Kaigama törzsi nevet kapta, felkereste a kanuri törzset Nigerben, azt hitte, „népe" földjére „tér vissza". Beaulát a bubi törzs nyolc asszonya, akiknek mitokondriumai megegyeztek az övével, rég elveszett lányukként köszöntötték a guineai partvidék egyik szigetén. Beaula elmondta:

> Olyan volt ez, mint amikor vér a vérrel érintkezik... Olyan volt, mint egy család... Csak sírtam, szemeim megteltek könnyel és a szívem kalapált. Egyfolytában csak ez járt az eszemben: „Megyek a szülőföldemre."

Érzelgős szemét, és soha nem lett volna szabad efféle gondolatokra csábítani őt. Azok, akiket ő vagy Mark felkeresett – még ha voltak is bizonyítékai a feltevésnek –, mindössze olyan egyének voltak, akikkel közösek voltak a mitokondriumaik. Valójában Markkal már korábban közölték, hogy Y-kromoszómája Európából származik (ami felzaklatta, s később láthatóan megkönnyebbült, amikor felfedezték mitokondriumainak tiszteletre méltó afrikai gyökereit!). Beaulának persze nincsenek Y-kromoszómái, és a film készítői nyilván nem vesződtek azzal, hogy utánanézzenek az apjáénak, pedig érdekes lett volna, mivel a lány elég világos bőrű volt. Ám

sem Beaulának, sem Marknak, sem a nézőknek nem magyarázták el, hogy a mitokondriumon kívüli gének csaknem biztosan sokféle „szülőföldről" származnak, amelyek még csak a közelében sem fekszenek a dokumentumfilm céljából azonosított vidékeknek. Ha többi génjüknek is utánanéztek volna, Afrika-, Európa- és minden bizonnyal Ázsia-szerte több száz különböző színhelyen játszódhatott volna le hasonlóan érzelmes „újraegyesítés". Ez persze tönkretette volna a drámai hatást.

Nem győzöm hangsúlyozni, mennyire félrevezető lehet, ha egyetlen génre alapozunk. Ám sok gén együttes bizonysága hatékony eszközt ad a kezünkbe, hogy visszanyúlhassunk a történelembe. A populáció génfái és az őket meghatározó egybeolvadási pontok a múlt eseményeit tükrözik. Nem csupán az egybeolvadási pontokat tudjuk kijelölni, de a molekuláris óra miatt azok időpontjáról is fogalmat alkothatunk. És itt a helyzet kulcsa, hiszen az elágazások időbeli mintázata történetet mond el. A véletlenszerű párosodás, vagyis *A tasmaniai meséjének* feltevése rendkívül eltérő egybeolvadási mintázatot eredményez a különféle fajtájú, nem véletlenszerű párosodásoktól, amelyek mindegyike rajtahagyja saját lenyomatát az egybeolvadásfán. A népesség nagyságának ingadozása ugyancsak hátrahagyja jellegzetes kézjegyét. Így a mai génmegoszlási mintázatokból visszafelé haladva következtetni tudunk a népesség méretére és a népmozgások idejére. Például amikor a populáció kicsi, az egybeolvadási eseményekre gyakrabban kerül sor. A gyarapodó népességet olyan fa jelzi, amelynek hosszúak az ágai, így az egybeolvadási pontok a fa törzsének közelében összpontosulnak, ahol a népesség kisebb volt. A molekuláris óra segítségével ezt a hatást felhasználhatjuk annak megfejtésére, hogy egy populáció mikor terjeszkedett, és mikor húzódott össze „útszűkületekké". (Sajnálatos azonban, hogy a súlyos útszűkületek azzal, hogy genetikai ágazatokat törölnek el, hajlamosak törölni azt is, mi történt korábban.)

Az egybeolvadó génfák segítették eldönteni az emberiség eredetének régóta zajló vitáját. Az „afrikai kiindulás" elmélete szerint valamennyi Afrikán kívül élő ember egyetlen, nagyjából százezer évvel ezelőtt lezajlott exodusból ered. A másik végletet a „külön eredet" elmélet hívei, más szóval a „multiregionalisták" képviselik, akik úgy vélik, hogy a ma is Ázsiában, Ausztráliában és Európában élő fajták egy korábbi faj, a *Homo erectus* regionális populációiból az ősidőkben váltak el külön leszármazási ággá. Mindkét elnevezés félrevezető. Az „afrikai kiindulás" azért szerencsétlen, mert azzal mindenki egyetért, hogy ha elég messzire megyünk vissza, őseink Afrikából származnak. A „külön eredet" szintén nem ideális név, hiszen megint csak, ha elég messzire visszamegyünk, az elkülönültségnek minden elméletben el kell tűnnie. A nézeteltérés az Afrikából való kiindulás időpontját érinti. Tán jobb lenne, ha a két elméletet „új afrikai kiindulásnak" (ÚAK), illetve „régi afrikai kiindulásnak" (RAK) neveznénk. Ez azzal a többlettel jár, hogy a köztük lévő folytonosságot hangsúlyozza.

Ha a mai nem afrikaiak valamennyien egy Afrikából újabban kiindult, egyetlen kivándorlásból származnak, akkor a mai génmegoszlásban egy legutóbbi, Afrikaközpontú, kis népességű „útszűkület" felbukkanására számíthatnánk. Az egybeolvadási pontok az exodus időpontja körül összpontosulnának. Ha viszont helyi *H. erectus*okból külön származtunk, akkor a géneknek ősidőkben különvált genetikai vonalak bizonyítékaira kellene utalniuk minden régióban. Abban az időben, amikorra az ÚAK hívei az exodust teszik, egybeolvadási pontok hiányát tapasztalnánk. Melyik tehát az igaz?

Ha egyetlen választ várunk erre a kérdésre, akkor ugyanabba a csapdába esünk, mint a *Szülőföld* című dokumentumfilm. Különböző gének más-más történetet mondanak el. Teljességgel elképzelhető, hogy bizonyos génjeink a közelmúltban indultak ki Afrikából, míg mások ettől eltérően *H. erectus*-populációkból maradtak ránk. Másként fogalmazva származhatunk egy közelmúltbeli afrikai exodusból, és ugyanakkor egy regionális *H. erectus*tól is, mivel a múlt bármely megadott időpontjában nagyszámú genealógiai ősünk van. Ezek némelyike nemrégiben hagyhatta el Afrikát, míg mások évezredek óta, mondjuk, Jáván laktak. Némelyiktől afrikai géneket, míg másoktól jávai géneket örökölhettünk. Egyetlen darabka DNS, mondjuk a mitokondriumból vagy az Y-kromoszómából olyan elszegényített képet ad a múltról, mint egyetlen kiragadott mondat egy történelemkönyvből. Mégis, az ÚAK-álláspontot hívei gyakran támogatják a Mitokondriális Éva meghatározásával. De mi történik, ha megkérdezzük a génparlament többi tagját is?

Éppen ezt tette Alan Templeton evolúcióbiológus, és állt elő rokonszenves hangzású elméletével, az „ismétlődő afrikai kiindulással". Templeton olyasfajta egybeolvadási elméletet alkalmazott, amilyennel a vérzékenységi fejtegetésünkben ismerkedtünk meg, ám ő nem egy, hanem sokfajta génnel kapcsolatban. Ez tette lehetővé számára, hogy rekonstruálja a gének történetét és földrajzát az egész világon és több száz évezreden át. Én pillanatnyilag Templeton „ismétlődő afrikai kiindulási" elméletét kedvelem, mert úgy tűnik, oly módon használja fel az összes elérhető információt, hogy maximálisan kiaknázza annak következtetéseket lehetővé tevő erejét, miközben munka közben minden lépésénél azon igyekezett, hogy megvédje magát a bizonyítékok túlértékelése ellen.

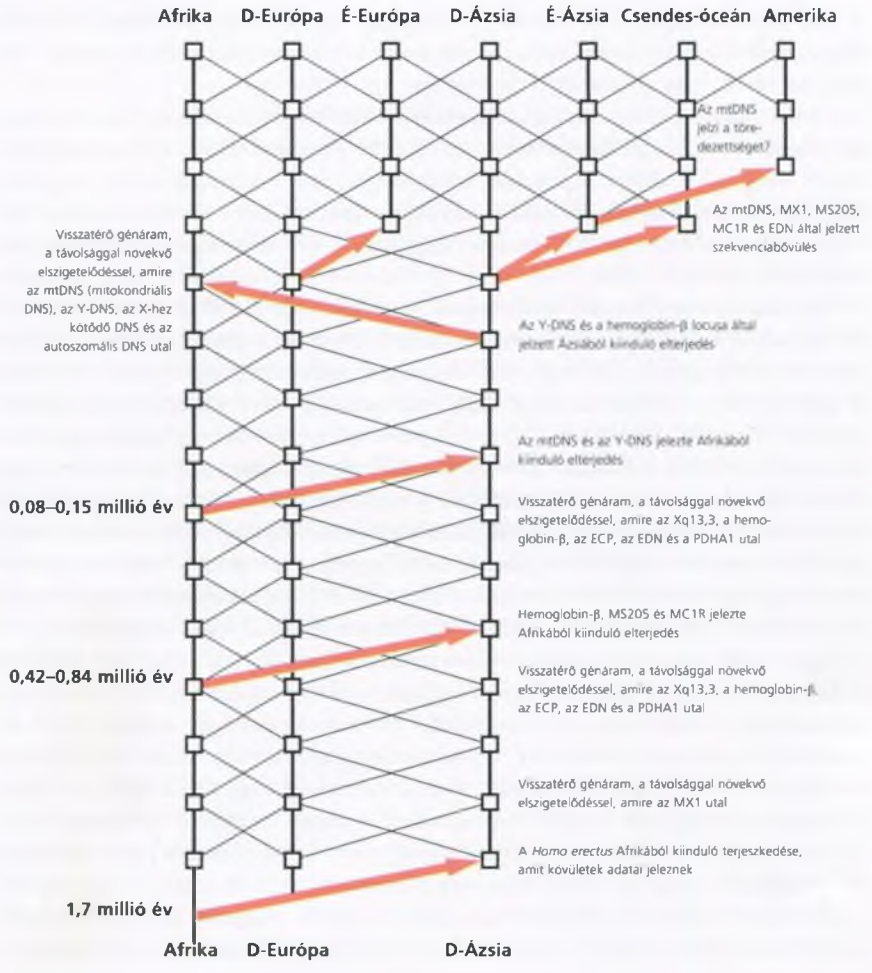
Íme, Templeton eljárása. Áttanulmányozta a genetikai irodalmat, és szigorú kritériumok segítségével fölözte le a krémjét: csak az emberi genetika átfogó tanulmányaira tartott számot, amelyekben a mintákat a világ különböző helyeiről vették, beleértve Európát, Ázsiát és Afrikát. A megvizsgált gének a hosszú életű „haplotípusok" közé tartoztak. A „haplotípus", mint láttuk, egy darab genom, amely vagy ellenáll annak, hogy megtörje a szexuális rekombinálódás (akár az Y-kromoszóma és a mitokondriális DNS), vagy (mint a genom bizonyos kisebb részei esetében) változatlanként ismerhető fel ahhoz éppen elegendő számú nemzedéken át, hogy átfogják érdeklődésünk időskáláját. A haplotípus a genom hosszú életű, felismerhető darabja. Nem hibázunk nagyot, ha egy nagy „génként" képzeljük el.

Templeton 13 haplotípusra állt rá. Mindegyikük esetében kiszámolta „génfájukat", és a molekuláris óra segítségével, amely a kövületek által végtére is hitelesítve van, meghatározta az egyesülési pontok időpontját. Ezekből az időpontokból, valamint a minták földrajzi elterjedéséből következtetéseket tudott levonni fajtáink utóbbi pár millió év alatti genetikai történetéről. Következtetéseit az 53. oldalon lévő ábrán foglalta össze.

Templeton fő következtetése az volt, hogy Afrikából nemcsak két nagyobb kivándorlásra került sor, hanem háromra. A RAK *(Homo erectus)* mintegy 1,7 millió évvel ezelőtti exodusán (amelyet mindenki elfogad, és amelynek bizonyítékai főként kövületek) és az ÚAK-elmélet által támogatott legutóbbi kivándorláson kívül a 840 000 és 420 000 évvel ezelőtti időszakban volt még egy Nagy Utazás Afrikából Ázsiába. Ezt a köztes emigrációt – nevezzük KAK-nak? – a 13 haplotípus közül háromból érkező „jelzések" támasztják alá. Az ÚAK-emigrációt mito-

kondriális és Y-kromoszómás bizonyítékok támogatják. Más genetikai „jelzések" egy körülbelül 50 000 évvel ezelőtti, Ázsiából Afrikába irányuló visszavándorlásról árulkodnak. Valamivel később a mitokondriális DNS és más kisebb gének újabb migrációkról beszélnek: Dél-Európából Észak-Európába, Dél-Ázsiából Észak-Ázsiába, továbbá a Csendes-óceánon át Ausztráliába. Végül, a mitokondriális DNS és a régészeti leletek bizonysága szerint Észak-Amerikát az akkori Bering-földnyelven keresztül, Északkelet-Ázsiából kiindulva foglalták el körülbelül 14 000 évvel ezelőtt. Ezután gyorsan végbement Dél-Amerika benépesítése a Panama-földnyelven keresztül. Az az állítás, hogy akár Kolumbusz Kristóf, akár Leif Erickson „fedezte" fel Amerikát, nem más, mint rasszizmus. Véleményem szerint éppígy ízetlen az amerikai bennszülöttek szájhagyományát övező ama relativista „tisztelet", amely tudatlanul letagadja, hogy őseik valaha is Amerikán kívül éltek.

Egyéb genetikai jelzések folytonos génörvénylésről tanúskodnak ide-oda Afrika, Dél-Európa és Dél-Ázsia között a Templeton-féle három nagy afrikai kirajzás közti időszakokban. Bizonyítékai azt sugallják, hogy a kisebb-nagyobb bevándorlásokat az



Újabb és újabb afrikai kirajzás
Templeton összegzése a legjelentősebb emberi migrációkról 13 haplotípus vizsgálatára épül. A függőleges vonalak genetikai leszármazást, az átlósak génáramlást jelentenek. A genetikai adatok által jelzett legjelentősebb emberi migrációkat a színes nyilak tüntetik fel. Átvétel Templetontól [284].

őslakos népességgel való keveredés követte, nem pedig – ami szintén előfordulhatott – az egyik vagy a másik fél teljes kiirtása. Ennek egyértelműen messzemenő következményei vannak evolúciós leszármazásunkra.

Ez a mese és Templeton vizsgálata az emberre és az emberi génekre összpontosított. Ám családfával természetesen minden faj rendelkezik. Valamennyi faj örököl genetikai anyagot. Minden kétnemű fajnak van egy Ádámja és egy Évája. A gének és génfák mindenütt jelen lévő tulajdonságai a földi életnek. A közelmúltbeli emberi történelemmel kapcsolatban alkalmazott módszerek az élet többi formájára is alkalmazhatók. A gepárd DNS-e egy 12 000 éves populációs útszűkületről árulkodik, amely igen fontos a macskafélékkel foglalkozó természetvédők számára. A kukorica DNS-e tévedhetetlenül magán viseli 9000 éves mexikói domesztikációjának kézjegyét. A HIV-törzsek egybeolvadási mintáit a járványkutatók és az orvosok felhasználhatják a vírus megértésére és megfékezésére. A gének és génfák feltárják az európai növény- és állatvilág történetét: a jégkorszakok mozgatta kiterjedt migrációkét, hiszen a jég terjedése a mérsékelt övi fajokat dél-európai menedékekbe kergette, míg visszahúzódása a sarkvidéki fajokat elszigetelt hegygerincekre vetette. Mindezek az események, és még sok egyéb is, kinyomozhatók a DNS megoszlásából a földgolyón, ebből a történelmi kézikönyvből, amelyet csupán csak most tanulunk meg olvasni.

Láttuk, hogy a különböző géneknek különféle elmesélnivalójuk van, amelyek összeillesztésével feltárhatunk valamit újabb és ősi történetünkről. De vajon milyen ősiről? Meglepő módon legrégebbi közösös-génjeink embervoltunkat megelőző időkre is visszanyúlhatnak. Ez különösen akkor igaz, amikor a természetes kiválasztódás a maga kedvére előnyben részesíti a populáció változatosságát. Lássuk, hogyan is működik ez.

Tegyük fel, hogy van két vértípusunk: nevezzük őket A-nak és B-nek, amelyek különböző betegségekkel szembeni ellenállást hordoznak. Mindegyik vértípus érzékeny arra a betegségre, amellyel szemben a másik védett. A betegség akkor virulens, ha gyakori az a vértípus, amelyet meg tud támadni, mert a járvány így továbbterjedhet. Ha tehát mondjuk a B típusú emberek gyakoriak egy népességben, az annak ártó betegség örvendhet járványnak. Következésképpen a B emberek fognak elhalálozni egészen addig, amíg már nem lesznek gyakoriak, viszont az A emberek sokasodnak – és megfordítva. Valahányszor két típussal akad dolgunk, a ritkább ritkaságánál fogva élvez előnyt: ez a *polimorfizmus* receptje, amely nem más, mint a változatosság megőrzése a változatosság kedvéért. Az AB0 vércsoportrendszer az egyik ilyen nevezetes polimorfizmus, amely vélhetően efféle oknál fogva őrződött meg.

Egyes polimorfizmusok meglehetősen tartósak lehetnek – olyan tartósak, hogy átívelhetnek ős- és utódfajváltásokon is. Meglepő módon a mi AB0-polimorfizmusunk megtalálható a csimpánzoknál is. Meglehet a csimpánzok és mi ugyanazon okból, de egymástól függetlenül „találtuk fel" a polimorfizmust. Ám még inkább hihető, hogy mindketten közös ősünktől örököltük, viszont egymástól függetlenül vittük tovább a különválásunk óta eltelt 6 millió évben, mivel az ennek megfelelő betegségek folyton köröttünk ólálkodtak ez idő alatt. Ezt a jelenséget transzspecifikus polimorfizmusnak nevezik, és jóval távolabbi rokonokra is érvényes, mint az ember és a csimpánz.

A megdöbbentő következtetés az, hogy bizonyos génjeink alapján közelebbi rokonságban állunk némely csimpánzzal, mint némely emberrel. Bizony, közelebb

állok némely csimpánzhoz, mint az olvasóhoz (vagy az olvasó csimpánzához). Az ember, mint faj, és az ember, mint egyén nem más, mint ideiglenes edény, amely különböző eredetű génegyveleget tartalmaz. Az egyének ideiglenes találkozási pontok azokon a szövevényes utakon, amelyeken a gének a történelemben járnak. Most „faszempontú" módon közelítek első könyvem, *Az önző gén* üzenetéhez. Ahogy ott fogalmaztam: „Amint megtettük kötelességünket, félredobnak bennünket. Ám a gének földtörténeti időkben honolnak; a gének örökkévalók." Egy amerikai konferencia zárófogadásán ugyanezt a gondolatot versben fogalmaztam meg:

„Szólt egy vándor önző gén:
»Testet sokat láttam én,
sokra vagy – tiéd az ész,
de én élek örökké.
Túlélőgép vagy, öcsém.«"

Erre föl a test génnek kapásból adott válaszaként a korábban idézett *Dán asszony hárfadalát* írtam át imigyen:

„Mi az a test, mit először elragadsz,
felnevelsz, és aztán veszni hagysz,
csak hogy kövesd a vak órásmestert?"

Úgy taksáltuk, hogy a 0. találkozás időpontja talán több tízezer évvel, legfeljebb több százezer évvel ezelőtt volt. Nem jutottunk messzire visszafelé tett zarándokutunkon. A következő találkozásunk, amely a csimpánz zarándokokkal esedékes az 1. találkozóhelyen, több millió évnyire van, és legtöbb találkozásunk százmillió évekkel azon túl. Hogy némi esélyünk legyen zarándoklatunk befejezésére, fel kell gyorsítanunk, és meg kell kezdenünk alászállásunkat a „mély időbe". El kell száguldanunk a többi harminc-egynéhány jégkorszak mellett, amelyek meghatározták az utóbbi hárommillió évet, és olyan drámai események mellett, mint a Földközi-tenger kiszáradása és újbóli feltöltődése, amelyek valamikor 4,5 és 6 millió évvel ezelőtt történtek. E kezdeti gyorsulást megkönnyítendő élek azzal a máskülönben szokatlan szabadsággal, hogy útközben megálljak néhány közbenső mérföldkőnél, és hagyom a holt kövületeket, hogy elmeséljék a történetüket. Azok a megkövült „árnyék" zarándokok, akikkel találkozunk, és az általuk elmondott mesék segítenek abban, hogy kielégítsük a közvetlen őseink iránt érzett természetes elfogultságunkat.

Az archaikus *Homo sapiens*

Első mérföldkövünk az 1. találkozáshoz vezető visszaúton, az utolsó előtti jégkorszak mélyén, mintegy 160 000 évvel ezelőtt található. Azért választottam ezt a pihenőhelyet, hogy egy pillantást vessünk az etiópiai Afar-mélyföldön* fekvő Hertóban előkerült kövületekre. A hertói emberek azért talányosak, mert – Tim White és munkatársai szavai szerint – „olyan népességhez tartoztak, amely az anatómiai modernség peremén helyezkedik el, de még nem teljesen modern". A neves paleoantropológus, Christopher Stringer szerint „a hertói anyag a legrégibb határozott emléke annak, amit jelenleg modern *H. sapiens*nek tartunk". Ezt a rekordot korábban fiatalabb, körülbelül 100 000 évvel ezelőttről származó közel-keleti kövület tartotta. Eltekintve a „modern" és „csaknem modern" közti szőrszálhasogató különbségektől, egyértelmű, hogy a hertói emberek a modern emberek és azon elődeink által formázott csúcsba futnak össze, akiket a mindent felölelő „archaikus *Homo sapiens*" néven ismerünk. Némely szaktekintély ezt a nevet használja egész a 900 000 évvel ezelőtti időszakig, ahol lassan átcsúszik egy korábbi fajba, a *Homo erectus*ba. Mint látni fogjuk, mások különböző latin neveket szeretnek aggatni az átmeneti archaikus formákra. Én azzal kerülöm ki a vitát, hogy kollégám, Jonathan Kingdon stílusában csak „Modernnek", „Archaikusaknak" vagy „Felegyenesedetteknek" nevezem őket, mint azt majd meglátjuk, ha rájuk fordul a szó. Nem szabad elvárnunk, hogy egyenes vonalat húzzunk az Archaikusak és a Felegyenesedettek között, akikből kifejlődtek, sem az Archaikusak és a legkorábbi Modernek között, akik az előzőekből kialakultak. Egyébként ne zavarodjunk össze attól, hogy a Felegyenesedettek archaikusabbak (kis *a*-val) voltak, mint az Archaikusak (nagy *A*-val), sem attól, hogy mind a három típus felegyenesedett volt, kis *f*-fel.

Az archaikus formák fennmaradtak a modernek mellett mintegy 100 000 évvel ezelőtti időig (sőt tovább, ha beleértjük a Neander-völgyieket is, akikről mindjárt többet hallunk). Az utóbbi néhány százezer évből származó ősi kövületek a világ minden részén előfordulnak: ennek példái a német „heidelbergi ember", a „rhodesiai ember" Zambiából (az egykori Észak-Rhodesiából) és a kínai „dali ember". Az Archaikusaknak akkora agyuk volt, mint nekünk: átlagban 1200–1300 köbcentiméter. Ez némileg kisebb, mint a mi 1400 köbcentis átlagunk, de a nagyságrend simán fedi a miénket. Testük robusztusabb, a koponyájuk vastagabb volt a miénknél, erőteljesebb szemöldökkel, viszont az álluk kevésbé emelkedett ki. Nálunk jobban hasonlítottak a Felegyenesedettekre, így az utólagos bölcsesség joggal látja köztes lénynek őket. Némely taxonómus a *Homo sapiens* alfaját, a *Homo sapiens heidelbergensis*t látja bennük (e szerint mi *Homo sapiens sapiens*ek lennénk). Mások egyáltalán nem

* Ugyanez az „Afar" az, amelyről elnevezték a jóval régebbi *Australopithecus afarensis*t, vagyis Lucyt.

ismerik el az Archaikusakat *Homo sapiens*ként, hanem *Homo heidelbergensis*nek hívják őket. Ismét mások az Archaikusakat több fajra osztják, például *Homo heidelbergensis*re, *Homo rhodesiensis*re és *Homo antecessor*ra. Ha belegondolunk, nyugtalankodnunk kellene, ha *nem* lenne széthúzás a besorolással kapcsolatban. Az élet evolúciós szemléletében az átmeneti állapotok összefüggő sorozatára kell számítnunk.

A modern *Homo sapiens sapiens* nem az egyetlen sarjadéka az Archaikusaknak. A fejlett emberek egy másik faja, az úgynevezett Neander-völgyiek őstörténetünk java részében kortársaink voltak. Bizonyos vonatkozásokban jobban hasonlítottak az Archaikusakra, mint mi, és úgy tűnik, mintegy 1–200 000 évvel ezelőtt bukkantak elő az Archaikus gyökerekből, ráadásul ezúttal nem Afrikában, hanem Európában és a Közel-Keleten. Az ezekben a térségekben előkerült kövületek fokozatos átmenetet jeleznek az Archaikusakból a Neander-völgyiek felé, s az első egyértelmű Neander-völgyi kövületeket éppen az utolsó jégkorszak kezdete előttről, mintegy 130 000 évvel ezelőttről találták. Ezt követően Európában e hideg időszak java részében fennmaradtak, és körülbelül 28 000 éve tűntek el. Más szóval a Neander-völgyiek létük teljes időszakában kortársai voltak az Afrikából Európába áramló Modern emigránsoknak. Némelyek szerint akár közvetlen kiirtásukkal, akár velük való versengés következtében a Modernek lelkén szárad a kihalásuk.

A Neander-völgyiek anatómiája éppen eléggé elütött a miénktől ahhoz, hogy némelyek kitartsanak amellett, hogy külön fajnévvel, a *Homo neanderthalensis*szel illessék őket. Megőrizték az Archaikusak némely vonását, így a hatalmas szemöldökcsontot, amely a Moderneknél nem volt meg (némely szaktekintély ezért is tartja őket az Archaikusak egy újabb fajtájának). A hideg környezethez való alkalmazkodás zömök testalkattal, rövid végtagokkal, valamint tekintélyes orral járt, és minden bizonnyal melegen – feltehetően prémruhákba – öltöztek. Agyuk akkora volt, mint a miénk, sőt nagyobb. A kutatók sokat foglalkoztak az arra utaló halvány jelekkel, hogy szertartásosan eltemették halottaikat. Fogalmunk sincs, tudtak-e beszélni, s a vélemények eltérnek ebben a fontos kérdésben. A régészeti utalások szerint a technológiai ötletek cserélődhettek a Neander-völgyiek és a Modernek között, de ez inkább utánzással, semmint a nyelv segítségével történhetett.

A zarándoklat szabályai kimondják, hogy csak a jelenből útnak induló mai állatok jogosultak a mesélésre. A dodóval és az elefántmadárral kivételt teszünk, mert ők a közelmúltban éltek. A *Homo erectus* és a *Homo habilis* kövületei pedig „árnyékzarándokoknak" minősülnek, mert minden okunk megvan arra, hogy őket tartsuk közvetlen őseinknek. Vajon a Neander-völgyiek is ebbe a rubrikába sorolhatók? Vajon tőlük származunk? Nos, az a helyzet, hogy épp ezt a kérdést feszegeti az a mese, amit a Neander-völgyiek el akarnak mondani. Tekintsünk úgy *A Neander-völgyi meséjé*re, mint védőbeszédre, amelynek elmondására ím lehetőséget kapott.

A Neander-völgyi meséje *(társszerző: Yan Wong)*

Vajon a Neander-völgyiektől származunk? Ha igen, akkor keveredniük kellett a *Homo sapiens sapiens*szel. De vajon keveredtek? Európában hosszú ideig egymás mellett éltek, és bizonyára kapcsolatban is álltak egymással. De vajon több volt ez

kapcsolatnál? Vajon a mai európaiak örököltek Neander-völgyi géneket? Hevesen vitatott kérdés ez, amit legutóbb ismét lángra lobbantott az, hogy figyelemre méltó DNS-kivonatot nyertek egy hajdani Neander-völgyi csontjaiból. Egyelőre csak anyaági mitokondriális DNS-t nyertünk, de ez is elegendő a puhatolódzó ítéletalkotáshoz. A Neander-völgyi mitokondriumok meglehetősen távol állnak valamennyi ma élő emberétől, ami arra utal, hogy a Neander-völgyiek nem állnak közelebb az európaiakhoz, mint bármely másik mai emberhez. Más szóval a Neander-völgyiek és valamennyi ma élő ember nőági közös őse a mintegy 500 000 évével messze megelőzi a Mitokondriális Éva 150 000 évét. A genetikai bizonyíték azt sugallja, hogy ritkán került sor a Neander-völgyiek és a Modernek közti sikeres kereszteződésre. Ebből adódóan gyakran halljuk, hogy utód nélkül haltak ki.

Ne feledjük viszont azt a „80 százalékos" érvet, amely annyira meglepett bennünket *A tasmaniai meséjé*ben. Egyetlen olyan bevándorlónak, akinek sikerült betörnie a tasmaniai szaporodási populációba, 80 százalék esélye volt arra, hogy az egyetemes ősök táborához tartozzék, vagyis azon egyének közé, akik magukat a távoli jövőben élő összes tasmaniai ősének nevezhették. Ugyanezen az alapon, ha csupán egyetlen Neander-völgyi hím is beházasodott a *sapiens* populációba, már ez is jó esélyt adott neki arra, hogy valamennyi ma élő európai őse legyen. Ez még akkor is igaz lehet, ha az európaiak egyáltalán nem tartalmaznak Neander-völgyi géneket. Meghökkentő gondolat.

Így, ha csupán kevés génünk származik is a Neander-völgyiektől – ha vannak ilyenek egyáltalán –, még akkor is lehetséges, hogy bizonyos embereknek akadnak Neander-völgyi őseik. A génfák és az emberfák közti eme különbséggel találkoztunk *Éva meséjé*ben. Az evolúciót a génfolyam irányítja, és *A Neander-völgyi meséjé*nek tanulsága – ha hagyjuk, hogy elmondja – éppen az, hogy az evolúciót nem vizsgálhatjuk, és nem is szabad vizsgálnunk az egyéni családfák módjára. Természetesen az egyének fontosak sok egyéb szempontból, de ha a leszármazásról van szó, a génfák számítanak. Az *evolúciós leszármazás* kifejezés génősökre, és nem genealógiai ősökre vonatkozik.

A kövületek változásai is a géncsaládfák, és nem a genealógiai családfák tükröződései (legfeljebb véletlenül). A kövületek jelzése szerint a Modernek anatómiáját az Afrikából kiinduló újabb vándorlás hagyta a világra. Ám Alan Templeton munkássága (amit *Éva meséjé*ben mutattunk be) arra utal, hogy részben nem afrikai Archaikusaktól is „származunk", talán még nem afrikai *Homo erectus*tól is. A megfogalmazás egyszerűbbé és kifejezőbbé is válik, ha az emberi helyett a gének nyelvére váltunk. A Modernek anatómiáját meghatározó géneket a nyomukban kövületeket hátrahagyó ÚAK vándorok hozták ki Afrikából. Ugyanakkor Templeton bizonyítékai arra utalnak, hogy a ma általunk birtokolt gének közül mások eltérő utakon áramlottak a világon, de ezek kevés anatómiai bizonyítékot hagytak maguk után ahhoz, hogy megmutatkozzanak. Talán legtöbb génünk az újabb afrikai kiindulás útvonalát követte, és csak néhány jutott el hozzánk más utakon. Vajon miként tudnánk még kifejezőbben megfogalmazni?

Nos, jogot nyertek a Neander-völgyiek a mesemondásra? Talán egy genealógai mesére, ha nem is a génekére, igen.

Az Ergasterek

Még mélyebbre hatolva az időben, újabb egymillió évvel nyúlunk vissza őseink után kutatva. Az egyedüli esélyes korabeli jelölt ahhoz a típushoz tartozik, amelyet általában *Homo erectus*nak neveznek, bár némelyek afrikai példányait *Homo ergaster*nek hívják, és én ez utóbbiakkal tartok. Megfelelő nevet keresve inkább Ergasternek (azaz Munkásnak), semmint *Erectus*nak (azaz Felegyenesedettnek) nevezem ezeket a lényeket, részben, mivel hitem szerint a legtöbb génünk afrikai formákra vezethető vissza, másfelől azért, mert – miként azt már jeleztem – nem voltak jobban felegyenesedettek, mint elődeik (a *Homo habilis*ok) vagy utódaik (mi). Bármely név áll is közelebb hozzánk, az Ergaster fennmaradt körülbelül 1,8 millió évvel ezelőttől negyedmillió évvel ezelőttig. Általánosan az Archaikusak közvetlen elődeinek és részben kortársainak fogadják el őket, akik viszont a Modernek, azaz a mi elődeink voltak.

Az Ergasterek szemmel láthatóan különböztek a modern *Homo sapiens*től. Az Archaikus *sapiens*ektől eltérően néhány szempontból annyira különböztek tőlünk, hogy nincs is semmi átfedés. A megtalált kövületek szerint a Közel-Keleten és a Távol-Keleten éltek, többek közt Jáván, és egy ősi afrikai kivándorlást képviselnek. Az olvasó bizonyára hallotta már régi nevüket: jávai emberként és pekingi emberként is emlegették őket. A latinban, mielőtt bebocsátották volna őket a *Homo* karámjába, a *Pithecanthropus* és a *Sinanthropus* fajtanevet kapták. Hozzánk hasonlóan két lábon jártak, ám kisebb agyuk volt (900 köbcentis a korai, míg 1100 köbcentis a későbbi példányoknak), amelyet alacsonyabb, kevésbé boltozatos, jobban „hátracsapott" koponya fogadott be, álluk pedig csapott volt. Előreugró szemöldökcsontjuk jellegzetes párkányt képezett a szemek fölött, amelyek vad arcba illeszkedtek, míg a koponya a szemek mögött oldalról behorpadt.

A szőr nem kövül meg, így történetünkben nem tudjuk magától értetődő helyére illeszteni azt a nyilvánvaló tényt, hogy evolúciónk valamely pontján fejtetőnk kiváltságos kivételével elveszítettük testszőrzetünk legjavát. Az Ergasterek nagy valószínűséggel szőrösebbek voltak nálunk, de nem zárhatjuk ki azt a lehetőséget sem, hogy az Ergasterek már jó egymillió éve elvesztették testszőrzetüket. Lehet, olyan csupaszok voltak, mint mi. Éppígy senki sem emelhet panaszt egy csimpánzhoz hasonlóan szőrös vagy a bozontosság közbenső fokozatait tükröző elképzelt rekonstrukció láttán. A modern emberek, legalábbis a férfiak, a szőrösséget illetően meglehetősen eltérőek maradtak. A szőrösség olyan vonás, amely az evolúció során időről időre fokozódhat vagy csökkenhet. A lappangó szőrzet és a hozzá társuló sejtszerkezeti háttér ott rejtőzhet a legcsupaszabbnak látszó bőrön is, készen arra, hogy rövid

idő alatt vastag szőrbundává gyarapodjék bármikor, ha a természetes szelekció előszólítja visszavonultságából, vagy ismét megritkuljon. Nézzük csak a gyapjas mamutot vagy a gyapjas orrszarvút, milyen gyorsan kialakultak Eurázsiában a legutóbbi jégkorszakokra adott válaszként! Az emberei szőrzet evolúciós elveszítésére még majd visszatérünk – meglehetősen különös helyen – *A páva meséjé*ben.

Az ismételten használt tűzhelyekről maradt hajszálnyi bizonyítékok arra utalnak, hogy az Ergasterek, legalábbis egynémely csoportja, felfedezte a tűz használatát – utólag okoskodva –, történelmünk eme nagy jelentőségű eseményét. A bizonyíték kevésbé meggyőző, mint remélnénk. A korom és a faszén okozta elfeketedés nem éli át korszakok múlását, de a tűz hagy maga után tartósabb nyomokat is. Modern kísérletezők rendszeresen különböző fajtájú tüzeket gyújtottak, majd megvizsgálták, milyen nyomokat hagynak maguk után. Kiderült, hogy a szándékosan rakott tábortüzek oly módon magnetizálják a talajt, amely megkülönbözteti őket a bozóttűztől és a kiégett farönköktől, de hogy miért, azt nem tudom. Effajta jelek bizonyítják, hogy az Ergastereknek mind Afrikában, mind Ázsiában tábortüzeik voltak csaknem egy és fél millió évvel ezelőtt. Ez nem szükségszerűen jelenti, hogy tüzet is tudtak gyújtani. A természetben előforduló tűz befogásával és gondozásával is kezdhették, táplálva és életben tartva, mint valami tamagoccsibabát. Meglehet, mielőtt főzni kezdtek volna, már használták a tüzet veszélyes állatok elriasztására, világításra, melegedésre vagy a közösségi élet központjaként.

Az Ergasterek emellett készítettek és használtak kőeszközöket, sőt feltehetően fa- és csonteszközöket is. Senki sem tudja, beszéltek-e, és ezzel kapcsolatban bizonyítékokat is nehéz szerezni. Azt gondolhatnánk, hogy a „nehéz szerezni" szépítő megfogalmazás, de most visszautunkon olyan pontra értünk, amikor a kövületek kezdenek beszélni. Ahogyan a tábortüzek is nyomokat hagynak a talajban, a beszéd szükségletei is apró változásokat hívtak elő a csontozatban: persze nem olyan feltűnőt, mint a dél-amerikai őserdők bőgőmajmának torkában lévő üreges csont, amellyel felerősíti sztentori hangját, de azért olyan árulkodó jeleket, amelyekről remélhetjük, hogy netán felbukkannak néhány kövületen. Sajnos a felszínre került jelek nem elég árulkodók ahhoz, hogy eldöntsék az ügyet, amely továbbra is vitatott marad.

A modern emberi agyban úgy tűnik, két tájék tartozik a beszédhez. Vajon történelmünk folyamán e két tartomány – a Broca-mező és a Wernicke-mező – mikor növekedett meg? A legközelebbi út, amelyen a fosszilis agyakat megközelíthetjük, a koponyaöntvény, amelyet *Az Ergaster meséjé*ben mutatunk be. Sajnálatosan az agy különböző részeinek elválasztó vonalai nem kövülnek meg kristálytisztán, ám néhány szakértő úgy véli, kimondhatja, hogy az agy beszédért felelős területe már kétmillió évvel ezelőtt megnagyobbodott. Azokat, akik hinni akarnak benne, hogy az Ergasterek rendelkeztek a beszéd hatalmával, felbátorítja ez a bizonyíték.

Rögvest elbizonytalanodnak azonban, mihelyt lejjebb is szemrevételezik a csontvázat. Az általunk ismert legteljesebb *Homo ergaster*-csontváz a Turkana Fiúé, aki mintegy 1,5 millió évvel ezelőtt halt meg a kenyai Turkana-tó közelében. A fiú bordái és a gerincen az idegek átfutására szolgáló lyukak apró mérete arra utalnak, hogy hiányzott nála a légzésnek az a finom szabályozása, amely úgy tűnik, a beszédhez társul. Más tudósok a koponyaalapot tanulmányozva arra lyukadtak ki, hogy még a mindössze 60 000 éve élt Neander-völgyiek sem tudtak beszélni. Ezt az

bizonyítja, hogy torkuk alakja nem tette lehetővé az általunk képzett teljes magánhangzó-sorozat megformálását. Másfelől viszont, miként Steven Pinker nyelvész és evolucionista pszichológus megjegyezte, „meg egy keves megenhengzes nyelv es meglehetesen kefejeze lehet". Ha az írott héber érthető magánhangzók nélkül, nem értem, miért ne lehetett volna érthető a beszélt Neander-völgyi vagy Ergaster nyelv is. A veterán dél-afrikai antropológus, Philip Tobias gyanúja szerint a nyelv esetleg még a *Homo ergaster*nél is korábbi, és talán igaza van. Mint láttuk, néhányan viszont a másik végletbe esnek, és a nyelv eredetét a Nagy Ugráshoz, a mindössze néhány tízezer évvel ezelőttre teszik.

Meglehet, azon viták egyike ez, amelyek örökre megoldatlanok maradnak. A nyelv eredetét illető minden fejtegetés a Párizsi Nyelvészeti Társaság 1866-os döntésének idézésével indul, amely azzal tiltotta meg a kérdésről folytatott vitát, hogy megválaszolhatatlan és terméktelen. Talán nehéz a válasz, de némely filozófiai kérdésfelvetéssel ellentétben mégsem elvileg megválaszolhatatlan. Ahol a tudományos leleményességről van szó, ott optimista vagyok. Miként a kontinensek vándorlásának elméletét mára meggyőző bizonyítékok számos cérnájával minden kétséget kizáróan beszegték már, és miként a DNS-ujjlenyomatok olyan bizonyossággal meghatározzák a vértípust, amilyenről a törvényszéki szakértők soha nem is álmodhattak, éppúgy némi fenntartással arra számítok, hogy a tudósok egy napon előállnak valami olyan eredeti módszerrel, amellyel megállapítható lesz, mikor kezdtek el őseink beszélni.

Azt azonban még én sem remélhetem, hogy valaha is megtudjuk, mit mondtak egymásnak, vagy azt milyen nyelven mondták. Pusztán nyelvtan nélküli szavakkal kezdődött vajon, a főneveket gügyögő kisbabához hasonlóan? Esetleg korán és – ami nem is lehetetlen és nem is ostobaság – hirtelen megjelent a nyelvtan? Talán a nyelvtani képesség valamely más célra hasznosítva – mondjuk gondolati tervezésre – már az agyban rejlett? Vajon az is elképzelhető lenne, hogy a nyelvtan, már amennyiben a nyelvre alkalmazták, egy zseni égből pottyant találmánya lenne? Kétlem, de ezen a területen semmit nem zárnék ki biztosan.

A nyelv eredetének megfejtése felé tett apró lépésként felbukkant néhány ígéretes genetikai bizonyíték is. Egy KE kódnevű család különös öröklődő fogyatékosságban szenved. A három generációra kiterjedő, mintegy 30 családtagnak körülbelül a fele normális, ám tizenöten különös nyelvi rendellenességet mutatnak, amely a beszédet és a megértést is érinti. A rendellenességet verbális diszpraxiának nevezik, és elsőként abban mutatkozik meg, hogy a gyermek nem képes tisztán artikulálni. Más szakértők szerint a zavar a „jegyvakságból", vagyis bizonyos nyelvtani jegyek, így a nem, az idő és a szám felfogására való képtelenségből fakad. Ami egyértelmű, az a rendellenesség genetikai jellege. Az embernek vagy van ilyenje, vagy nincs. A jelenség egy *FOXP2* nevű fontos gén mutációjával kapcsolatos, amely bennünk, többiekben mutálatlan formában található. Génjeink többségéhez hasonlóan a *FOXP2* egy változata az egerekben és más fajokban is megvan, s feltehetően különféle dolgokat végez az agyban és egyebütt.* A KE család esete azt bizonyítja, hogy az emberben a *FOXP2* igen fontos a nyelvvel kapcsolatos valamelyik agyterület fejlődéséhez.

* Sok génnek van egynél többféle hatása: ez a jelenség pleiotropizmusként ismert.

Így hát természetesen össze kívánjuk vetni az emberi *FOXP2*-t a nyelvvel nem rendelkező állatok ugyanezen génjével. A géneket összehasonlíthatjuk maguknak a

DNS-szekvenciáknak vagy az általuk kódolt fehérjék aminosav-szekvenciáinak vizsgálatával. Van olyan, amikor ez számít, és ez is ezen esetek közé tartozik. A *FOXP2* egy 715 aminosavból álló fehérjét kódol. Az egér és a csimpánz génváltozata csupán egyetlen aminosavban különböznek egymástól. Az emberi változat mindkét állatétól további két aminosavban különbözik. Ugye sejtjük, mit jelent ez? Bár az ember és a csimpánz evolúciója és génállománya nagyrészt közös, úgy tűnik, a *FOXP2* gén az az egyik pont, ahol mi, emberek a különválásunk óta eltelt rövid idő óta gyorsabban fejlődtünk. Márpedig az egyik legfontosabb szempont, amelyben a csimpánzoktól különbözünk, az, hogy mi tudunk beszélni, ők meg nem. Pontosan egy olyan gént kell tehát keresnünk, ha meg akarjuk érteni a nyelv fejlődését, amelyik valahol a felénk mutató vonal mentén, de a csimpánzoktól való elválásunk után változott meg. Márpedig épp ez az a gén, amely a szerencsétlen KE családban mutáción esett át.* Talán a *FOXP2*-ben bekövetkezett változások tették az embert a csimpánztól eltérővé és a nyelvre képessé. Vajon az Ergasterek rendelkeztek a mutáns *FOXP2* génnel?

* És ugyanígy, némileg másképpen egy teljesen más egyénnél, aki ugyanezzel a nyelvi fogyatékossággal küzd.

Hát nem csodás lenne, ha ezt a genetikai hipotézist ki tudnánk aknázni a nyelv eredetének megállapítására őseinkben? Addig is, amíg ezt biztonsággal nem tudjuk megvalósítani, azért még támadhatnak e nyomvonal mentén ötleteink. Magától értetődő lenne a modern emberekben lévő variánsokból kiindulva visszafelé háromszögelni, hogy megpróbáljuk megállapítani, milyen régi a *FOXP2* gén. Ám az olyan szerencsétlenek ritka kivételétől eltekintve, mint a KE család tagjai, az embereknél nincs eltérés egyetlen *FOXP2* aminosavban sem. Így hát nincs elegendő változat a háromszögeléshez. Szerencsére azonban a génnek vannak egyéb olyan részei, amelyek soha nem íródtak át fehérjévé, és épp ezért szabadon mutálódhattak anélkül, hogy a természetes szelekció „észrevette" volna őket: ezek a kód „néma" betűi, amelyek a gén soha át nem íródó részeiben találhatók, s épp ezért nevezik őket intronoknak (szemben az „exonokkal", amelyek „kifejeződnek", és épp ezért „láthatók" a természetes szelekció által). A néma betűk meglehetősen eltérőek az egyes emberek, valamint az emberek és a csimpánzok között. Némi fogalmat alkothatunk a génevolúcióról, ha megnézzük a néma területek eltérésmintáit. Még ha a néma betűk nincsenek is alávetve a természetes szelekciónak, a szomszédos exonok szelekciója elsöpörheti őket. Mi több, a néma intronok eltérésmintáinak matematikai elemzése jól jelzi, *mikor* ment végbe ez a természetes szelekció általi kisöprés. Márpedig a *FOXP2* esetében a válasz: 200 000 évvel ezelőtt. Úgy tűnik, a *FOXP2* emberi formájának természetes kiválasztás általi megváltozása nagyjából egybeesik az archaikus *Homo sapiens*ről a modern *Homo sapiens*re való váltással. Lehet, hogy ekkor született a nyelv? Az effajta számítás hibaszázaléka nagy, de ez az ötletes genetikai bizonyíték felér azon elmélettel ellenében, hogy a *Homo ergaster* tudott beszélni. Még ennél is fontosabb számomra, hogy a váratlan új módszer felfokozza optimizmusomat, hogy a tudomány egy nap megtalálja a módját, hogy meghátrálásra késztesse a Párizsi Nyelvészeti Társaság pesszimistáit.

A *Homo ergaster* az első olyan fosszilis ősünk a zarándoklatunk során, aki egyértelműen más fajhoz tartozik, mint mi. Most zarándoklatunk olyan szakasza előtt állunk, amelyben a kövületek szolgáltatják a legfontosabb bizonyítékokat, s a továbbiakban is kiemelkedő szerepet töltenek be – noha a molekuláris bizonyítékokat soha nem múlják felül –, míg egészen távoli időkbe nem érünk, amikor a kö-

vületek is kezdenek megfogyatkozni. Itt hát az alkalmas pillanat, hogy alaposabban szemügyre vegyük a kövületeket és azt, hogyan keletkeznek. Majd az Ergaster elmondja nekünk ezt a mesét.

Az Ergaster meséje

Richard Leakey megindítóan írja le azt a felfedezést, amikor kollégája, Kimoya Kimeu 1984. augusztus 22-én rábukkant a Turkana Fiúra *(Homo ergaster)*, aki 1,5 millió évével a legrégibb csaknem teljes hominida csontváz. Hasonlóképp megindító Donald Johanson beszámolója a Lucy néven ismert, régebbi, és ezért nem meglepő módon kevésbé teljes *Australopithecus*-félékhez tartozó csontvázról. Éppígy figyelemre méltó a még nem teljesen leírt „Kisláb" felfedezése (lásd 80. o.). A vakszerencse ugyan miféle véletlen összjátéka áldotta meg Lucyt, „Kislábat" és a Turkana Fiút, hogy ily módon nyertek halhatatlanságot, s vajon nem kívánnánk-e hasonlót magunk számára, amikor időnk elérkezik? Miféle akadályokon kell áthágnunk, hogy megvalósuljon e vágyunk? Hogyan képződnek a kövületek? Erről szól *Az Ergaster meséje*. Előbb azonban kis kitérőt kell tennünk a geológia világába.



Nem kívánnánk hasonlót magunknak, amikor időnk elérkezik?
A Turkana Fiú *(Homo ergaster)* körülbelül 9–11 éves volt, amikor vagy 1,5 millió éve meghalt. Mintegy 165 cm magas volt. A kezek és a lábak kivételével csaknem teljes csontvázat Észak-Kenyában, a Turkana-tó közelében fedezték fel.

A kőzetek kristályokból épülnek föl, bár ezek gyakran túl kicsik ahhoz, hogy szabad szemmel is láthatók legyenek. A kristály egyetlen óriási molekula, amelynek atomjai szabályos térközű rácsmintázatot alkotva ismétlődnek milliárdszor, míg végül elérik a kristály szélét. A kristályok akkor növekednek, amikor az atomok kiválnak a folyadékból, és ráépülnek a meglévő kristály terjeszkedő szegélyére. A folyadék rendszerint víz. Máskor egyáltalán nem oldatról, hanem magáról a megolvadt ásványról van szó. A kristály alakja és oldalainak találkozási szögei közvetlenül az atomrácsot adják vissza nagyban. A rácsforma olykor valóban igen nagyban vetül ki, mint a gyémánt vagy az ametiszt esetében, amelyek kristálylapjai a puszta szemnek is elárulják a magától összeállt atomszerkezet háromdimenziós geometriáját. Általában azonban a kőzeteket alkotó kristályos egységeket kicsinységük miatt a szem nem tudja megkülönböztetni, s éppen ez egyik oka annak, hogy a legtöbb kőzet nem átlátszó. A fontos és gyakori kőzetkristályok közé tartozik a kvarc (szilícium-dioxid), a földpát (nagyrészt ugyancsak szilícium-dioxid, de néhány szilíciumatomot alumíniumatom helyettesít) és a kalcit (kalcium-kar-

bonát). A gránit a megolvadt magmából kikristályosodott kvarc, földpát és csillámkő tömör egyvelege. A mészkő főként kalcit, a homokkő leginkább kvarc, amely mindkét esetben apróra őrlődött, és aztán homok vagy sár üledékkel állt össze.

A *vulkanikus* kőzetek kihűlt lávaként kezdik (amely viszont megolvadt kőzet). A gránithoz hasonlóan gyakran kristályosak. Alakjuk olykor láthatóan az üvegszerű megszilárdult folyadékra hasonlít, és roppant nagy szerencsével az olvadt láva olyan természetes öntőformákba kerülhet, mint mondjuk egy dinoszaurusz lábnyoma vagy egy emberi koponya. Ám a vulkáni kőzet leginkább a kormeghatározás terén lehet hasznos az élet történésze számára. Miként azt *A vörösfenyő meséjében* látni fogjuk, a legjobb kormeghatározási módszerek a vulkáni kőzetek révén állnak a rendelkezésünkre. A kövületeket egyedül önmagukban nehéz meghatározni, de kereshetünk vulkáni kőzetet a közelben. Ekkor vagy egykorúnak minősítjük a kövületet, vagy keresünk két, a kövületet közrefogó, meghatározható vulkáni kőzetmintát, és meghatározzuk felső és alsó időponthatárait. Ez a szendvics-kormeghatározás azzal a halvány kockázattal jár, hogy a tetemet áradás, hiéna vagy annak dinoszaurusz megfelelője vitte az anakronisztikus színhelyre. Szerencsés esetben ez nyilvánvaló, különben általános statisztikai mintát követve vissza kell térnünk a konzisztenciához.

Az *üledékes* kőzetek, mint például a homokkő és a mészkő, apró törmelékekből képződnek, amelyeket a szél vagy a víz őröl fel korábbi kőzetekből vagy más szilárd anyagokból, például kagylókból. Ezeket homokként, iszapként vagy porként szállítja, míg le nem rakódnak valahol, ahol az idők során új kőzetréteggé tömörülnek. A legtöbb kövület üledékágyban fekszik.

Az üledékes kőzet anyaga alapjellegéből adódóan állandóan újrahasznosul. A régi hegységeket, mint például a Skót-felföldet a szél és a víz lassan lecsiszolja, s az így nyert anyag később újra leülepszik, s végül valahol új hegyként tornyosult fel, mint az Alpok, hogy megint újra kezdődjék a körforgás. A visszaforgatás eme világában meg kell fékeznünk sürgető igényünket olyan összefüggő kövületsor iránt, amely kitölti az evolúció minden hézagját. Nem csupán a jó szerencse hiányának tulajdonítható, hogy a kövületek gyakran hiányoznak, hanem az üledékes kőzet képződési folyamatából elkerülhetetlenül következik. Határozottan aggasztó lenne, ha nem lennének hézagok a kövületsorozatban. A régi kőzeteket kövületestől együtt épp azok a folyamatok pusztítják, amelyek az újakat létrehozzák.

Gyakran képződnek kövületek úgy, hogy az ásványtartalmú víz behatol az eltemetett lény szöveteibe. Az életben a csont alapos műszaki és gazdaságossági okokból porózus és likacsos. Amikor a víz a holt csont hézagait átitatja, az ásványok az idő múlásával lassan lerakódnak. Úgyszólván rituálisan mondtam „lassant", de gondoljunk csak bele, milyen gyorsan elvízkövesedik egy teaforraló. Egyszer az ausztrál tengerparton találtam egy kőbe ágyazódott kupakot. Ám a folyamat általában lassú. Bármekkora is a sebesség, a fosszília köve végül felveszi az eredeti csont alakját, és ez az alak évmilliók múlva is megmutatkozik nekünk, még akkor is – ami nem minden esetben fordul elő –, ha az eredeti csont minden atomja eltűnik. Az arizonai Painted-sivatag megkövült erdeje olyan fákból áll, amelyek szöveteit lassan a talajvízből kimosódó kova és egyéb ásványok váltották föl. A kétszázmillió éve halott fák ma már minden ízükben kövek, de sejtszerkezetüknek számos mikroszkopikus részlete megkövült állapotban még ma is látható.



Minden ízében kő
Az arizonai megkövült fatörzsek részletesen megőrizték a fa szerkezetét, még az évgyűrűket is, bár magát a fát már csaknem teljes egészében ásványok váltották föl.

Már említettem, hogy néha az eredeti szervezet vagy annak valamely része természetes öntőformát vagy nyomot képez, amelyből aztán az eredeti eltűnik vagy feloldódik. Örömmel emlékszem arra a Texasban 1984-ben eltöltött két boldog napra, amikor a Paluxy folyóban gázolva a puha homokkőágyban megőrződött dinoszaurusz-lábnyomokat tanulmányoztuk, sőt lábamat is beléjük helyeztem. Groteszk helyi legenda kapott lábra arról, hogy ezek némelyike a nyilvánvalóan dinoszaurusznyomokkal egyidős óriás emberek lábnyoma. Ennek következtében a közeli Glen Rose város virágzó háziipar központja lett, amely giccses óriáslábnyomokat hamisít cementtömbökbe (hiszékeny teremtéshívőknek szánva eladásra, akik túlontúl jól tudják, hogy „az óriások valának a földön abban az időben" (Genezis 6:4). A valódi lábnyomok történetét gondosan kidolgozták, és valóban lenyűgöző. Az egyértelműen dinoszaurusz-lábnyomok háromujjasak. Azoknak, amelyek halványan emberi lábnyomokat idéznek, nincsenek lábujjaik, s olyan dinoszauruszoktól származnak, amelyek a lábuk hátsó részén jártak, s nem a lábujjaikon futottak. Emellett a képlékeny iszap a lábnyomok oldalán jobban visszaszivárgott, s elfedte a dinoszauruszok szélső lábujjlenyomatait.

Ennél is megrendítőbbek számunkra a tanzániai Laetoliban 3,6 millió évvel ezelőtt az akkoriban friss vulkáni hamuban egymás mellett bandukoló, három valódi hominida – talán *Australopithecus afarensis* – csoportos lábnyomai. Ugyan ki ne töprengene el azon, ugyan kik voltak egymásnak ezek az egyének? Fogták-e egymás kezét, netán beszélgettek is? Vajon miféle elfeledett küldetésben jártak egy pliocén kori hajnalon?

Olykor, miként azt a láva kapcsán már említettem, az öntőforma eltérő anyaggal telítődik, s ezt követően az eredeti állat vagy szerv öntvényévé szilárdul. E sorokat a kertemben egy olyan asztalon rovom, amelynek lapja egy hat inch vastagságú, hét négyzetláb nagyságú, jura időszaki, talán 150 millió éves, Purbeck-üledékes mészkőtömb.* Számos kagylóhéj kövület szomszédságában akad itt az asztal mellett egy állítólagos dinoszaurusz-lábnyom is (legalábbis a neves és különc szobrász, akitől kaptam, ezt állítja), de ez a példány a felületből kiálló, dombormű formájú. Az eredeti lábnyom (ha ugyan eredeti, mert számomra elég nehezen besorolhatónak tűnik) szolgált minden bizonnyal öntőformaként, amelybe később az üledék lerakódott. Az öntőforma aztán eltűnt. Annak nagy része, amit az archaikus agyakról tudunk, ilyen öntvényekből: a „koponyaöntvényekből" származik, amelyekben gyakran magának az agy felületének meglepően részletes lenyomatai is meglátszanak.

* Egy újságíró egyszer több mint egyórás interjút készített velem ennél a kéttonnás megalitnál, amiről aztán az újságban így írt: „fehér, kovácsoltvas asztal". Ez a kedvenc példám a szemtanú esendőségére.

Fogták egymás kezét?
A 3,6 millió éves hominida lábnyomokat a tanzániai Laetoliban Mary Leakey 1978-ban fedezte fel. A lábnyomok vulkáni hamuban fosszilizálódtak A nyom mintegy 70 méter hosszan húzódik, és feltehetően *Australopithecus afarensis*ek hagyták maguk után.





Szerencse, hogy egyáltalán vannak kövületeink
A csengcsiangi kövületágyból előkerült egyik féreg, a *Palaeoscolex sinensis* kövületén jól kirajzolódnak a puha testrészek részletei. A csengcsiangi kövületek az 525 millió évvel ezelőtti alsó kambrium korból származnak.

A kagylóknál, csontoknál vagy fogaknál ritkábban olykor az állatok puha részei is fosszilizálódnak. A leghíresebb lelőhelyek a kanadai Sziklás-hegységben lévő Burgess Shale és a valamivel régebbi, dél-kínai Csengcsiang, amellyel *A bársonyféreg meséjé*ben újra találkozunk majd. Mindkét helyen férgek és egyéb puha, csont és fog nélküli élőlények (meg persze a megszokott kemények) káprázatosan megörökítik a több mint félmilliárd évvel ezelőtti kambrium időszakot. Rendkívül szerencsések vagyunk, hogy van Csengcsiangunk és Burgess Shale-ünk. Valóban – miként már korábban megjegyeztem – jókora szerencse, hogy egyáltalán vannak kövületeink. Becslések szerint a valaha élt összes fajok 90 százalékát soha nem fogjuk kövületekből megismerni. Ha ez a szám egész fajokra vonatkozik, gondoljunk csak bele, milyen kevés esélye van az egyedeknek azon remény valóra váltására, amellyel a mese kezdődött, vagyis hogy kövületként végezze. Egyik becslés a gerincesek esetében ennek esélyét egy a millióhoz teszi. Számomra ez az érték túl magasnak tűnik, s az esély minden bizonnyal jóval kevesebb a kemény részek nélküli állatok esetében.

Habilisek

A *Homo ergaster*től újabb egymillió évvel korábban, úgy 2 millió évvel ezelőtt már nincs többé kétség, melyik kontinensbe nyúlnak genetikai gyökereink. Mindenki, még a „több központú eredet" hívei is egyetértenek abban, hogy ez a hely Afrika. Az ebből az időszakból származó, legmeggyőzőbb csontkövületeket általában *Homo habilis* néven sorolják be. Némely szaktekintély egy ehhez rendkívül hasonló korabeli típust is megkülönböztet, amit *Homo rudolfensis*nek neveznek. Ezt mások a *Kenyapithecus*szal azonosítják, amit a Leakey-csapat 2001-ben írt le. Ismét mások óvatosan tartózkodnak attól, hogy ezeket a kövületeket fajnévvel illessék, és csak „korai *Homo*ként" emlegetik őket. Szokásomhoz híven nem foglalok állást a nevek ügyében. Ami igazán számít, azok maguk a hús és vér teremtmények, akiket gyűjtőnéven „Habiliseknek" (azaz Ügyeseknek) nevezek. A Habilis-kövületek, minthogy korábbiak, érthető módon ritkábbak, mint az Ergaster-kövületek. A legjobb állapotban fennmaradt koponyát azonosító száma, a KNM-ER 1470 után széltében csak „Ezernégyszázhetvenesként" ismerik. Gazdája 1,9 millió évvel ezelőtt élt.

A Habilisek körülbelül annyira különböztek az Ergastertől, mint azok mitőlünk, és miként joggal várhatjuk, előfordulnak nehezen besorolható, köztes változatok is. A Habilis-koponyák nem annyira robusztusak, mint az Ergasteré, és hiányzik a kiálló szemöldökcsont is. Ebből a szempontból a Habilisek inkább ránk ütöttek. Ezen nem kell meglepődnünk. A robusztusság és a szemöldökcsont olyan tulajdonságok, amelyeket – akárcsak a szőrzetet – a hominidák az evolúciós kihívásra válaszolva, láthatólag képesek voltak kifejleszteni, majd újra elhagyni.



Miért duzzadt meg az agy?
A KNM-ER 1470-es számú Habilis-koponyát Richard Leakey 1972-ben fedezte fel a kenyai Kelet-Turkanában. Az arc hosszú és lapos, a homlok pedig magasabbra emelkedik, mint az *Australopithecus*féléké, hogy helyet biztosítson a nagyobb agyüregnek.

A Habilisek jelzik azt a pontot történetünkben, ahol az agy, az emberi sajátosságok e legkirívóbbika, növekedni kezd. Vagy még pontosabban, kezdi meghaladni a többi emberszabású már amúgy is nagy agyát. Valójában ez a különbség magyarázza, hogy a Habiliseket egyáltalán a *Homo* nembe helyezzük. Számos paleontológus számára a nagy agy nemünk megkülönböztető jegye. A Habilisek 750 köbcentimétert meghaladó agyukkal átkeltek a Rubiconon, és emberek.

Miként az olvasó hamarosan belefárad hallásába, jómagam nem vagyok a Rubiconok, határok és szakadékok híve. Különösebben nincs okunk arra számítani, hogy egy korai Habilist elődjétől nagyobb szakadék válasszon el, mint utódjától. Pedig erre kísérthetne bennünket az, hogy az elődnek más a fajneve *(Australopithecus)*, míg az utód *(Homo ergaster)* „csupán" egy másik *Homo*. Igaz, hogy amikor élő fajokat vizsgálunk, arra számítunk, hogy a különböző nembe tartozó fajok kevésbé hasonlítanak egymásra, mint az azonos nembe tartozó fajok. Ez azonban nem így működik a kövületek esetében, ha rendelkezésünkre áll az evolúció összefüggő történeti vonala. Valamely fosszilis faj és közvetlen elődje közti határvonalon kell lennie néhány egyednek, akikről abszurditás lenne a fenti állítás, hiszen az efféle érv *reductiója* azt követelné, hogy egyik faj szülei életet adjanak egy másik faj gyermekének. Még abszurdabb az a felvetés, hogy egy *Homo* nembeli baba egy teljesen más nembe (az *Australopithecus*ba) tartozó szülőktől szülessen. Zoológiai nevezéktanunkat nem ezekre az evolúciós tartományokra szabták.*

Az elnevezések talonba helyezése szabaddá tesz bennünket egy jóval építőbb jellegű elmélkedésre arról, *miért* kezdett el az agy hirtelen növekedni. Hogyan mérhetnénk a hominida agy növekedését, és hogyan ábrázolhatnánk grafikusan az átlagos agyméret és a geológiai idő viszonyát? Az időmérés egységei nem okoznak problémát: évmilliókról van szó. Az agyméret keményebb dió. A koponyakövületek és koponyaöntvények lehetővé teszik az agytérfogat kifejezését köbcentiméterben, ezt pedig könnyedén átválthatjuk grammra. Ám nem feltétlenül az abszolút agyméretre van szükségünk. Egy elefántnak nagyobb agya van, mint egy embernek, mégsem a puszta hiúság mondatja velünk, hogy agyasabbak vagyunk az elefántoknál. A *Tyrannosaurus* agya nem sokkal volt kisebb a mienknél, mégis minden dinoszauruszt szűkagyú, lassú észjárású teremtménynek tartunk. Azért vagyunk okosabbak, mert *testünkhöz képest* nagyobb az agyunk, mint a dinoszauruszoknak. De mit is jelent pontosabban az, hogy „testünkhöz képest"?

Léteznek olyan matematikai módszerek, amelyekkel pontosíthatjuk az abszolút méretet, és valamely állat agyméretét kifejezhetjük annak függvényében, hogy mekkorának „kellene lennie", ha ismerjük testméretét. Ez a téma megér egy külön mesét, s kényelmetlen helyzeti előnyéből, az agyméret Rubiconja fölött terpeszben álló *Homo habilis*, az ezermester majd elmondja nekünk.

* A 750 köbcentiméteres Rubicont a *Homo* meghatározására elsőként Sir Arthur Keith alkalmazta. Richard Leakey a *The Origin of Humankind* (Fajunk eredete) című könyvében elmondja, hogy amikor Louis Leakey először leírta a *Homo habilist*, az ő példányának 650 köbcentiméteres agya volt, és Leakey el is mozdította a Rubicont, hogy ehhez illessze hozzá. A *Homo habilis* későbbi példányai viszont a 800 köbcentihez közelítő értékekkel Sir Keitht igazolták. Mindez az én Rubicon-ellenes malmomra hajtja a vizet.

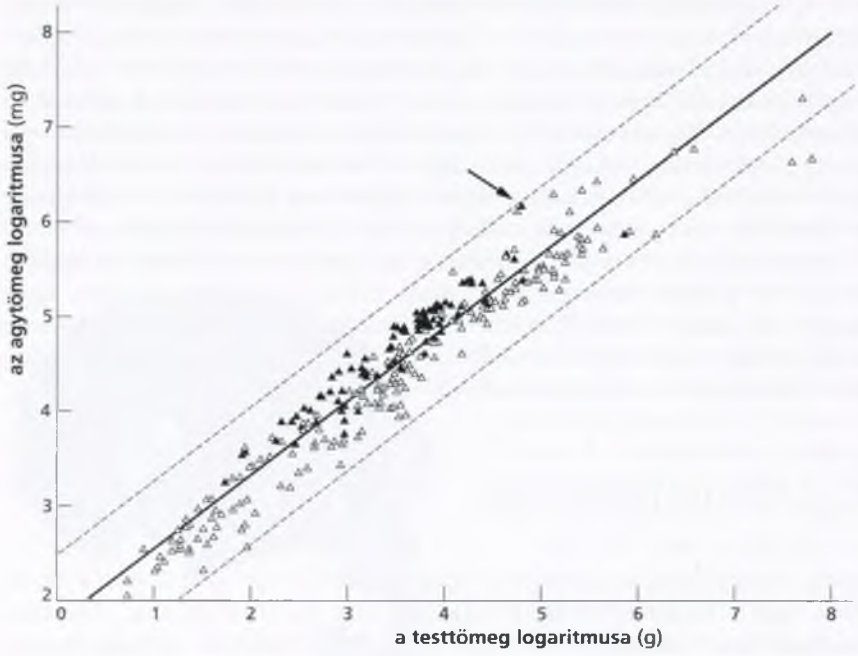
Az ezermester meséje

Azt akarjuk tehát megtudni, hogy egy bizonyos teremtmény, mint például a *Homo habilis* agya a testmérethez képest nagyobb vagy kisebb-e, mint amekkorának „lennie kellene". Elfogadjuk (bár ami engem illet, vonakodva, de hadd legyen), hogy a nagy állatoknak nagy agy, a kis állatoknak kis agy dukál. Ezt megengedvén azonban még mindig szeretnénk tudni, hogy bizonyos fajok „agyasabbak"-e másoknál. Milyen testmérettel számoljunk tehát? Szükségünk van egy elfogadható alapra ahhoz, hogy a testméretéből kiszámíthassuk egy állat várható agyméretét, hogy eldönthessük, vajon egy bizonyos állat agya nagyobb vagy kisebb-e az elvárhatónál.

Múltba vezető zarándokutunkon történetesen az aggyal összefüggésben ütköztünk ebbe a problémába, de hasonló kérdés felvethető bármely testrésszel kapcsolatban is. Vajon bizonyos állatoknak nagyobb (vagy kisebb) szíve, veséje vagy lapockacsontja van, mint amekkorának méretéhez képest „lennie kellene"? Ha igen, az arra utalhat, hogy életmódja különleges követelményeket támasztott szívével (veséjével vagy lapockacsontjával) szemben. Honnan tudjuk, hogy valamely állat valamely testrészének a teljes testméret ismeretében mekkorának „kellene lennie"? Vegyük figyelembe, hogy a „kellene lennie" nem azt jelenti, hogy „funkcionális okokból ekkorának kell lennie", hanem hogy „ekkorára számíthatunk annak ismeretében, hogy a hasonló állatoknak mekkora van". Minthogy az ezermester meséjéről van szó, márpedig az ezermester legfeltűnőbb vonása az agya, továbbra is az agyat használjuk okfejtésünk példájaként. A tanulság azonban ennél általánosabb.

Azzal kezdjük, hogy egy csomó faj vonatkozásában elkészítjük az agytömegnek a testtömeghez viszonyított szórásdiagramját. Az alábbi grafikon (amit neves kollégámtól, az antropológus Robert Martintól vettem át) minden szimbóluma egy élő emlősfajt képvisel – összesen 309-et, a legkisebbtől a legnagyobbig. A most bennünket érdeklő *Homo sapiens* jelét nyíl jelzi, közvetlenül mellette a delfiné található. A pontok közt húzódó vastag fekete vonal az az egyenes, amely a statisztikai számítás szerint megadja az összes pontnak leginkább megfelelő értéket.*

* Ez az a vonal, amelynél a pontok tőle való távolsága négyzeteinek összege a legkisebb.



Különböző fajok agy- és testtömegének logaritmikus görbéje. Martin [185] nyomán.

Kis bonyodalmat okoz, amit mindjárt feloldunk, hogy a dolgok jobban működnek, ha mindkét tengelyt logaritmikus sorozatban adjuk meg, s ez a grafikon ekként is készült. Valamely állat agytömegének logaritmusát testtömegének logaritmusához viszonyítva ábrázoljuk. A logaritmikus azt jelenti, hogy a grafikon alján (vagy a függőleges tengelyen) tett egységnyi lépés egy bizonyos számmal, mondjuk a tízzel való *szorzás*nak, s nem egy szám hozzáadásának felel meg, mint a közönséges gra-

fikonon. A tíz azért kényelmes, mert így a logaritmust a nullák számával tudjuk mérni. Ha egy egér testsúlyát egymilliószor kell venni, hogy megkapjuk egy elefántét, akkor hat nullát kell az egér súlya után írnunk: vagyis hatot kell hozzáadnunk az egy logaritmusához, hogy megkapjuk a másik logaritmusát. A logaritmikus skálán köztük félúton egy olyan állat található, amelynek súlya ezerszer több az egérénél, vagy ezredrésze az elefánténak: talán egy ember. Az olyan kerek számok használata, mint az ezer vagy a millió, csak megkönnyíti a magyarázatot. A három és fél nulla valahová az ezer és a tízezer közé eső értékre utal. Vegyük figyelembe, hogy a „köztük félúton" egészen mást jelent akkor, ha nullákat számolunk, mint amikor grammokat számolunk. Mindez magától értetődő, ha megnézzük a számok logaritmusait. A logaritmus sorozatok egészen másfajta intuíciót követelnek, mint a más célra szolgáló aritmetikai sorozatok.

Legalább három oka van a logaritmus sorozatok használatának. Először is, ez lehetővé teszi, hogy egy törpecickányt, egy lovat és egy kék bálnát ugyanazon a grafikonon ábrázoljunk anélkül, hogy százméternyi papírra lenne szükségünk. Másfelől ily módon könnyen leolvashatjuk a szorzótényezőket, mert időnként éppen ezt szeretnénk tenni. Nem csupán azt akarjuk megtudni, hogy nagyobb agyunk van, mint amekkorának testméretünk alapján lennie kéne, hanem azt is, hogy agyunk, mondjuk hatszor nagyobb annál, mint amekkorának „lennie kellene". Az ilyen többszörös ítéletek közvetlenül leolvashatók egy logaritmikus grafikonról: hiszen éppen ezt jelenti a logaritmus. A harmadik ok, amiért előnyben részesítjük a logaritmikus sorozatokat, kissé hosszabb magyarázatot igényel. Egyfelől úgy fejthetjük ki, hogy ily módon szóródási pontjaink egyenes és nem görbe mentén helyezkednek el, de ennél többről van szó. Hadd próbáljam meg elmagyarázni számtan-analfabéta sorstársaimnak.

Tegyük fel, van egy gömbre, kockára, netán egy agyra hasonlító tárgyunk, amit egyenletesen felfújunk úgy, hogy alakja ugyanolyan marad, de mérete tízszeresére nő. A gömb esetében ez tízszeres átmérőt jelent. A kocka vagy az agy esetében a szélesség (meg a magasság és a hosszúság) tízszeresét jelenti. Az arányos emelkedés ezen eseteiben mi történik a térfogattal? A térfogat nem tízszer lesz nagyobb, hanem ezerszer! Ki is próbálhatjuk ezt a kockák esetében, ha kockacukrokat rakosgatunk egymásra. Ugyanez vonatkozik az egyenletesen felpuffadó tetszőleges alakzatra. Szorozzuk meg a hosszúságot tízzel, és – feltéve, hogy az alak nem változik – automatikusan megszorozzuk a térfogatot ezerrel. A tízszeres felfúvódás különleges esetében ez három nulla hozzáadásának felel meg. Általánosabban fogalmazva: a térfogat a hosszúság harmadik hatványának felel meg, a logaritmust pedig hárommal kell megszorozni.

Ugyanezt a számítást alkalmazhatjuk a terület vonatkozásában. Ám a terület a hosszúság második és nem harmadik hatványa arányában növekszik. Nem véletlenül hívjuk a második hatványozást négyzetre emelésnek, míg a harmadik hatványozást köbözésnek. A kockacukor térfogata meghatározza, mekkora a cukor mennyisége, és menyibe kerül. Ám azt, hogy milyen gyorsan oldódik fel, a felszín területe határozza meg (nem egyszerű számítás, mivel oldódás közben a megmaradt felület lassabban csökken, mint a maradék cukor térfogata). Amikor egy tárgyat hosszúságának (szélességének stb.) megkétszerezésével egyenletesen fújunk fel, a felszín területét kétszeresére növeljük: $2 \times 2 = 4$. Ha a hosszúságot tízzel szorozzuk, a felületet ugyancsak tízzel szorozzuk: $10 \times 10 = 100$, vagy két nullát írunk

a számhoz. A terület logaritmusa a hosszúság logaritmusának kétszeresével, míg a térfogat logaritmusa a hosszúság logaritmusának háromszorosával nő. Egy két centiméteres kockacukor nyolcszor annyi cukrot tartalmaz, mint egy egy centiméteres kocka, de csak négyszer olyan gyorsan bocsátja ki a cukrot a teába (legalábbis kezdetben, mert a kockacukor felszíne érintkezik a teával).

Most képzeljük el, hogy különféle méretű kockacukrokról készítünk szórásdiagramot úgy, hogy a kocka (térfogattal arányos) tömege a vízszintes tengelyre, míg a (kezdeti) oldódási arány (melyet a területtel arányosnak veszünk) a függőleges tengelyre kerül. Egy nem logaritmikus grafikonon a pontok *görbe* vonal mentén helyezkednek el, aminek értelmezése elég nehéz és nem is túl megvilágító erejű. Viszont ha a tömeg logaritmusát a kezdeti oldódási arány logaritmusához viszonyítva ábrázoljuk, akkor valami jóval informatívabbat kapunk. A logaritmus tömeg minden háromszoros növekményére a felszín logaritmus megkettőződését fogjuk kapni. A logaritmikus grafikonon a pontok nem görbe, hanem egyenes mentén helyezkednek el. Mi több, az egyenes vonal *lejtése* valami nagyon pontos dologról számol be. Kétharmados lejtőről van szó: a felület tengelyen megtett két lépéssel a vonal három lépést halad a térfogat tengelyen. A felület logaritmusának minden megkétszerezésével a térfogat-logaritmus megháromszorozódik. A kétharmad nem az egyetlen tájékoztató lejtő vonal, amit a logaritmikus grafikonon megfigyelhetünk. Az efféle grafikonok azért is sokatmondóak, mert a vonal lejtése sejteti, milyen viszonyban áll egymással mondjuk a térfogat és a felszín. Márpedig a térfogat és a felszín, a köztük lévő bonyolult viszonnyal együtt, rendkívül fontosak az élőlények és testrészeik megértéséhez.

Finoman fogalmazva: nem vagyok különösebben matematikai elme, de még én is látom az ebben rejlő vonzerőt. Annál is inkább, mert ugyanez az elv érvényes valamennyi alakzatra, nemcsak az olyan szabályosakra, mint a kocka vagy a gömb, hanem az olyan bonyolultakra is, mint az állatok vagy az állatok részei, például a vesék és az agyak. Mindehhez csupán arra van szükség, hogy a méretváltozásnak alakváltozás nélkül, egyszerű nagyobbodásként vagy kisebbedésként kell megnyilvánulnia. Mindez egyfajta nulla elvárást biztosít számunkra, amelyhez a valódi méreteket mérhetjük. Ha egy állatfaj tízszer olyan hosszú, mint egy másik, akkor tömege ezerszer lesz akkora, *de csak akkor, ha az alakja ugyanaz marad.* Valójában az alak minden bizonnyal úgy fejlődött, hogy szisztematikusan különböző legyen, amint a kis állatoktól a nagyok felé haladunk, és most már azt is láthatjuk, miért.

A nagy állatoknak szükségszerűen más alakjuknak kell lennie, mint a kicsiknek, ha másért nem, hát a terület/térfogat sorozat imént látott szabályai miatt. Ha egy cickányt elefánt nagyságúra fújnánk föl úgy, hogy megtartja alakját, nem maradna életben. Minthogy most egymilliószor nehezebb lenne, egy sor új probléma jelentkezne. Bizonyos problémák, amelyekkel az állatoknak szembe kell nézniük, a térfogatból (tömegből) adódnak. Mások a felületből fakadnak. Ismét mások a kettő bonyolult együtthatóiból, vagy éppen teljesen más megfontolásokból. A kockacukor oldódási arányához hasonlóan, egy állatnak a bőrön át történő hőveszteségi vagy vízveszteségi aránya azon felülettel arányos, amit a külvilág felé mutat. Viszont hőtermelési aránya valószínűleg inkább a testében lévő sejtek számától függ, amely viszont a térfogat függvénye.

Egy elefánt méretűre növelt cickánynak olyan nyurga lábai lennének, amelyek eltörnének a megerőltetéstől, és karcsú izmai túl gyengék lennének a működésre.

Egy izom ereje nem tömegével, hanem keresztmetszeti területével arányos. Ez abból adódik, hogy az izommozgás egymás mellett párhuzamosan húzódó molekuláris rostok millióinak összeadódó mozgásából áll. Az egy izomba bezsúfolható rostok száma annak keresztmetszeti területétől (a lineáris méret második hatványától) függ. Ám az izmok által ellátandó feladat – mondjuk egy elefánt megtartása – az elefánt tömegével arányos (a lineáris méret harmadik hatványa). Így az elefántnak testtömege megtartása érdekében arányosan több izomrostjának *kell* lennie, mint a cickánynak. Ezért az elefánt izmainak keresztmetszeti területének nagyobbnak kell lennie attól, amit az egyszerű felnagyítás alapján várnánk, és az elefánt izomtömegének is többnek kell lennie annál, mint amit az egyszerű felnagyítás alapján várnánk. Különböző egyedi okoknál fogva, de hasonló következtetés érvényes a csontokra is. Ezért van az elefánthoz hasonló állatoknak masszív, fatörzs alakú lábuk. Galilei az elsők közt döbbent rá erre, bár ábrája eltúlozza a tényleges hatást.



Galilei az elsők közt döbbent rá erre
Galilei rajza a viszonylagos csontméretekről az 1638-ban megjelent, *Matematikai érvelések és bizonyítások két új tudományág, a mechanika és a mozgások köréből* című művéből.

Tegyük fel, hogy egy elefánt méretű állat százszor olyan hosszú, mint egy cickány méretű. Alakváltozás nélkül külső bőrfelülete tízezerszer lenne nagyobb, mint egy cickányé, míg térfogata és tömege egymilliószor. Ha az érintésérzékelő sejtek ugyanolyan sűrűn helyezkednének el a bőrön, az elefántnak tízezerszer többre volna szüksége belőlük, és az agy azon részének, amely kiszolgálja őket, talán ezzel arányosan kellene nagyobbnak lennie. Az elefánt testében lévő sejtek összes száma egymilliószor haladja meg a cickányét, és ezek mindegyikét kapilláris véredényeknek kell ellátnia. Mit követelne ez számszerűen a sok millió véredénytől, amelyre egy nagy állatban számíthatunk, szemben egy kicsivel? Bonyolult számítás ez, amelyre egy későbbi mesében még majd visszatérünk. Pillanatnyilag elegendő megértenünk, hogy ha ezt számoljuk, nem hagyhatjuk figyelmen kívül a térfogat és felszín arányításának ezen szabályait, továbbá hogy a logaritmikus grafikon jó módszer ahhoz, hogy intuitív kulcsot kapjunk az efféle dolgokhoz. A fő tanulság az, hogy amint egy állat az evolúció során nagyobb vagy kisebb lesz, joggal számíthatunk arra, hogy alakja megjósolható irányokban változik.

Minderre az agyméretről szőtt gondolatmenet kapcsán lyukadtam ki. Anélkül egyszerűen nem hasonlíthatjuk össze agyunkat a *Homo habilis*éval, az *Australopithecus*éval vagy bármely egyéb fajéval, hogy ne vennénk figyelembe testméretüket. Szükségünk van az agyméret olyasfajta mutatójára, amely utal a testméretre. Nem oszthatjuk el az agyméretet a testmérettel, bár még ez is jobb lenne, mint az abszolút agyméretek összevetése. Ennél jobb megoldás, ha az imént taglalt logaritmikus grafikonokat alkalmazzuk. Ábrázoljuk az agytömeg logaritmusát a testtömeg logaritmusához viszonyítva egy csomó, különböző méretű faj esetében. A pontok talán egy egyenes vonal mentén húzódnak, amint az a 70. oldal grafikonján is történt. Ha a vonal lejtése 1/1 (az agyméret pontosan arányos a testmérettel), ez arra utal, hogy minden agysejt bizonyos rögzített számú testi sejtet képes ellátni. A 2/3-os lejtés arra utalna, hogy az agyak olyanok, mint a csontok és az izmok: egy adott testtérfogat (testsejtszám) bizonyos agyfelszínterületet igényel. Más lejtési arányok ismét más értelmezést igényelnének. Nos, milyen hát a vonal tényleges lejtése?

Nem 1/1, és nem is 2/3, hanem valahol a kettő között. Hogy pontosítsuk, rendkívül jól illik a 3/4-hez. Miért pontosan 3/4? Nos, ez egy külön mese, amely el is hangzik majd, mint azt az olvasó bizonyára már sejtette, méghozzá a karfiol előadásában (hát igen: az agy egy kissé úgy *néz ki*, mint egy karfiol). Anélkül hogy előre kisajátítanám *A karfiol meséjét*, csak megjegyzem, hogy a 3/4-es lejtő nemcsak az agyakra jellemző, hanem mindenféle élőlénynél újra és újra felbukkan, beleértve a karfiolhoz hasonló növényeket is. Az agyméretre alkalmazva, és olyan intuitív magyarázatra építve, amelyre *A karfiol meséjéig* még várnunk kell, ez a megfigyelt vonal a maga 3/4-es lejtésével az a jelentés, amit a mese nyitófejezetében használt *elvár* szónak tulajdonítani fogunk.

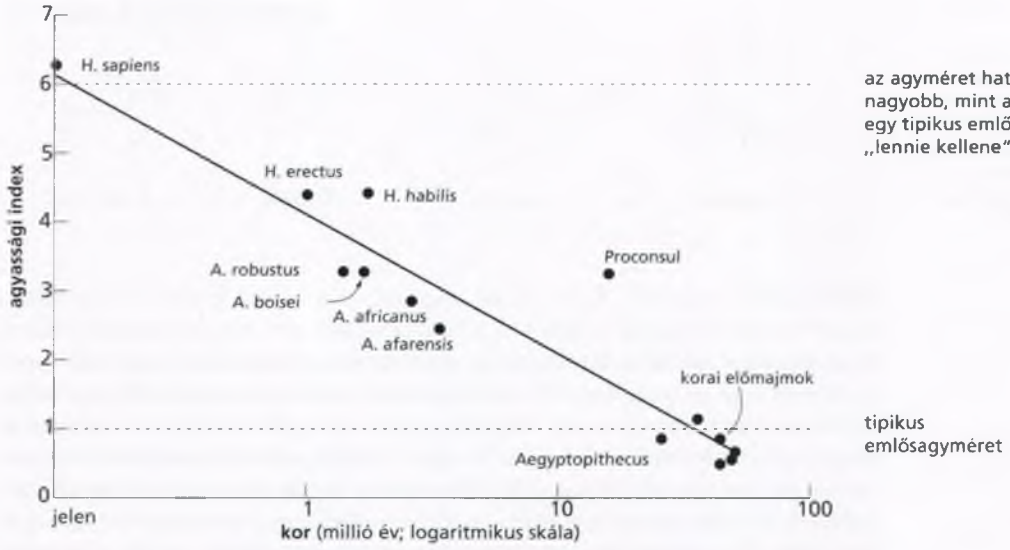
Jóllehet a pontok az „elvárt" 3/4-es lejtő egyenes körül csoportosulnak, nem minden pont esik pontosan a vonalra. Egy „agyas" faj pontja a vonal fölé esik a grafikonon. Ennek az agya nagyobb, mint teste alapján „elvárható". Egy olyan faj, amelynek az agya kisebb az „elvárhatónál", a vonal alá kerül. A vonaltól fölfelé vagy lefelé mért távolsággal mérjük, hogy mennyivel nagyobb vagy kisebb az „elvártnál". Egy pontosan a vonalra eső pont olyan fajt képvisel, amelynek agya pontosan akkora, amekkora teste alapján „elvárható".

Elvárható, de miféle előfeltevés alapján? Azon előfeltevés alapján, hogy mi a tipikus azon fajok körében, amelyeknek adatai alapján kiszámítottuk a vonalat. Így ha például a vonalat a szárazföldi gerincesek jellegzetes képviselői alapján számítottuk ki, a gekkótól az elefántig, akkor az a tény, hogy az emlősök a vonal fölé esnek (míg az összes hüllő a vonal alá), azt jelenti, hogy az emlősöknek nagyobb az agyuk, mint amit egy tipikus gerincestől „elvárnánk". Ha az emlősök jellegzetes képviselői alapján egy másik vonalat is kiszámítanánk, az párhuzamos lenne a gerincesekével, továbbra is 3/4-es lejtése lenne, de nagyobb lenne az abszolút magassága. A főemlősök jellegzetes képviselőinek (majmok és emberszabásúak) a vonala megint csak magasabb, de továbbra is párhuzamos és 3/4-es lejtésű lenne. A *Homo sapiensé* pedig magasabb lenne mindegyiknél.

Az emberi agy „túl" nagy még a főemlősök szintjéhez képest is, az átlagos főemlős agya pedig túl nagy az emlősök általános szintjéhez képest. Ugyanakkor az átlagos emlősagy túl nagy a gerincesek szintjéhez. Másképp úgy fogalmazhatnánk, hogy a gerincesek grafikonján a pontok szóródása szélesebb, mint a pontok szóródása az emlősök grafikonján, amely viszont szélesebb, mint a főemlősöké, akiket magában foglal. A vendégízületesek pontjainak szóródása a grafikonon (a vendégízületesek dél-amerikai emlős rend, idetartozik a lajhár, a hangyász és a tatu) az emlősök átlaga alatt marad, amelynek a vendégízületesek szórása egy részét képezi.*

Harry Jerison, a fosszilis agyméretstúdiumok atyja javasolta az enkefalizációs hányados (EQ) bevezetését annak mérésére, hogy mennyivel nagyobb vagy kisebb egy bizonyos faj agya annál, amekkorának testéhez képest „lennie kellene", feltéve, hogy a faj egy nagyobb csoportba, mondjuk a gerincesek vagy az emlősök közé tartozik. Vegyük figyelembe, hogy az EQ-hoz meg kell határoznunk ezt a nagyobb csoportot, amelyet az összehasonlítás alapvonalaként használunk fel. Valamely faj EQ-ja az adott nagyobb csoport átlagvonala fölött vagy alatt mért távolság. Jerison úgy vélte, hogy a vonal lejtése 2/3-os, míg a modern vizsgálatok egyetértenek abban, hogy ez az érték 3/4, így Jerison saját EQ-becsléseit is ezzel összhangban kell módosítani, miként arra Robert Martin rámutatott. Ennek elvégzése után

* Hasonló dolgokkal kell számolnunk akkor is, amikor kihalt állatokat rekonstruálunk. Richard Owen, a nagy viktoriánus kori anatómus írt le egy kihalt ausztráliai erszényes ragadozót, amelyet *Thylacoleónak* nevezett el, mert úgy gondolta, hogy akkora volt, mint egy oroszlán. Később rájöttek, hogy az agya csak akkora volt, mint egy leopárdé, így elkezdték leopárd nagyságúként rekonstruálni. Aztán rájöttek, hogy az erszényeseknek testükhöz képest általában kisebb agya van, mint a méhlepényes emlősöknek. Így ha ennek az erszényesnek leopárdnyi agya volt, a teste lehetett oroszlánnyi, s Owennek mégis igaza volt.



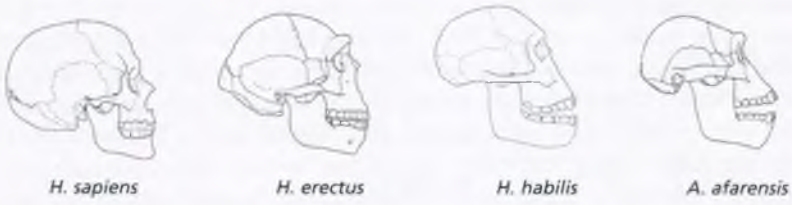
Harry Jerison EQ- vagy agyassági indexe, az évmilliókban kifejezett idő függvényében, logaritmikus skálán feltüntetve. Az eredményeket 3/4-es lejtésű referencia alapvonalra vetítve pontosítottuk (lásd a szöveget).

kiderül, hogy a modern emberi agy körülbelül hatszor akkora, mint amekkorának lennie kellene egy azonos méretű emlőshöz képest (az EQ még magasabb lenne, ha a gerincesek egészének szintjével, s nem az emlősök egészével összevetve számolnánk ki. Ugyanakkor kisebb lenne, ha csak a főemlősök szintjével összevetve számolnánk ki).* Egy modern csimpánz agya körülbelül kétszer akkora, mint amekkorának tipikus emlősként lennie kellene, s ugyanez vonatkozik az *Australopithecus*-félék agyára. A *Homo habilis* és a *Homo erectus*, amelyek feltehetően átmenetet képeztek az *Australopithecus* és köztünk, az agyméret terén is átmenetet jelentenek. Mindkettő EQ-indexe 4, tehát agyuk körülbelül négyszer akkora volt, mint amekkorának hasonló méretű emlősként lennie kellett.

A grafikonon a különböző fosszilis főemlősök és majomemberek becsült EQ-ját, vagyis agyassági indexét látjuk annak az időnek a függvényében, amelyben éltek. Egy kis kételkedéssel ez úgy is olvasható, mint az evolúciós időben visszafelé haladva csökkenő agyasság vázlatos grafikonja. A grafikon tetején találjuk a modern *Homo sapiens*t 6-os EQ-jával, ami azt jelenti, hogy agyunk hatszor olyan nehéz, mint amilyennek egy hozzánk hasonló méretű emlőshöz képest „lennie kellene". A grafikon alján találhatók azok a fosszíliák, amelyek mondjuk az 5. köz-ősnek, vagyis az óvilági majmokkal közös ősünknek felelhetnek meg. Az ő becsült EQ-juk 1 volt, vagyis agyuk „körülbelül megfelel" egy velük egyező méretű tipikus emlősének. A grafikonon közbenső helyen szerepelnek a különböző *Australopithecus*- és *Homo*-fajok, akik őságunk közelében lehettek a maguk idejében. A vastag vonal, még egyszer, az a vonal, amely leginkább megfelel a grafikon pontjainak.

Kis kételkedést javasoltam, de hadd emeljem meg az adagot nagy kételkedésre. Az EQ agyassági indexet két mért mennyiségből, az agytömegből és a testtömegből számítottuk ki. A kövületek esetében mindkét említett mennyiséget a ránk maradt töredékek alapján kell megbecsülni, így főként a testtömeg megbecslésekor jókora a hibaszázalék. A *Homo habilis*t pontja a grafikonon „agyasabbnak mutatja", mint a *Homo erectus*t. Ebben én nem hiszek. A *H. erectus* abszolút agyamérete

* Nagyjából ugyanez vonatkozik az IQ-ra is, amely *nem* abszolút mértéke az intelligenciának, hanem inkább azt tükrözi, mennyivel (vagy mennyivel kevésbé) vagyunk intelligensebbek egy adott populáció átlagához képest, ha azt az átlagot 100-nak tekintjük. Az IQ-m alacsonyabb lenne, ha az Oxfordi Egyetem átlagához, mint ha Anglia háttér-populációjának átlagához mérnénk. Innen a vicc az azon kesergő politikusról, hogy a lakosság felének 100-nál kisebb az IQ-ja.



Négy hominida koponya összehasonlítása egyértelmű növekedést jelez a *Homo habilis*szal kezdődően. A koponyákat azonos magasságúnak tüntettük föl, az átlagos profilok pedig különböző fosszilis példákra épülnek.

vitathatatlanul nagyobb. A *H. habilis* nagy EQ-ja a sokkal kisebb becsült testtömegből fakad. Hogy elgondolhassuk a hibaszázalékot, csak jusson eszünkbe, menynyire eltérő a mai emberek testtömege. Az EQ mint mértékegység igen érzékenyen reagál a testtömeg mérésében elkövetett hibákra, hiszen – emlékezzünk rá – az EQ képletben hatványozottan növekszik. Így aztán a pontok szóródása a vonal körül nagyrészt a testtömeg téves becslését tükrözi. Másfelől viszont a vonal által kifejezett időbeli tendencia valószínűleg megfelel a valóságnak. Az ebben a mesében kifejtett módszerek – különösen itt a végén az EQ becslése a grafikon alapján – igazolják szubjektív benyomásunkat, hogy evolúciós fejlődésünk utóbbi 3 millió évében az egyik legfontosabb történés a már amúgy is nagy főemlősagyunk továbbnövekedése volt. Ebből adódik a következő nyilvánvaló kérdés: miért? Miféle darwinista szelekciós nyomás hajtotta az agy megnagyobbodását az utóbbi 3 millió év során?

Minthogy erre azután került sor, hogy hátsó lábunkra álltunk, némelyek felvetették, hogy az agy felduzzadását a kezek felszabadulása vezérelte, és az, hogy így lehetőségünk nyílt a pontosan szabályozott kézhasználatra. Általánosságban hihetőnek találom ezt a felvetést, bár nem jobban, mint a többit, amivel ezzel kapcsolatban előálltak. Ám az emberi agy megnagyobbodása az evolúciós tendenciák sebességéhez képest robbanásszerűnek tűnik. Szerintem a felfúvódó evolúció sajátos, felfúvódó magyarázatot igényel. Az *Unweaving the Rainbow* (Szivárványbontás) című könyvem „Túltengő agy" című fejezetében ezt a „felfúvódás" témát az általam „szoftver-hardver koevolúciónak" nevezett általános elméletté fejlesztettem. A számítógépes párhuzam azzal kapcsolatos, hogy a szoftverújítások és a hardverújítások növekvő spirálban váltják ki egymást. A szoftverújítások hardverújításokat váltanak ki, amelyek viszont a szoftverek fejlesztésére ösztönöznek, és így a felfúvódás felgyorsul. Az agyban az *afféle* dolgokra, amelyeken én szoftverújítást értettem, a jelöltjeim a nyelv, a nyomkövetés, a dobás és a mémek voltak. Az agyfelfúvódás egyik elmélete, amelynek nem szolgáltattam igazságot előző könyvemben, a szexuális szelekció volt, és pusztán ez magyarázza, hogy e kérdést külön is előtérbe állítom a könyv egy későbbi fejezetében.

Vajon a megnövekedett emberi agy, vagy inkább annak olyasféle termékei, mint a testfestés, az epikus költészet, a rituális táncok fejlődhettek-e egyfajta szellemi pávatollakká? Már régóta gyenge pontom ez az eszme, de egész addig senki sem fejlesztette összefüggő elméletté, amíg egy Angliában dolgozó fiatal amerikai evolucionista pszichológus, Geoffrey Miller meg nem írta a *The Mating Mind* (A párzó elme) című könyvét. Erről az elképzelésről *A páva meséjé*ben hallunk majd, miután a 16. találkozóhelyen a madár zarándokok csatlakoznak hozzánk.

A MAJOMEMBER

Az emberi kövületekről szóló népszerűsítő irodalom a „legkorábbi" emberős megtalálásának állítólagos ambíciójával van beojtva. Ez bizony ostobaság. Olyan célirányzott kérdéseket feltehetünk, hogy: „Melyik volt az a legkorábbi emberős, amely szokásszerűen két lábon járt?" Vagy: „Melyik volt az első olyan lény, amely nekünk ősünk volt, de a csimpánzoknak nem?" Vagy: „Melyik volt az a legkorábbi emberős, amelynek agytérfogata meghaladta a 600 köbcentimétert?" Az ilyen kérdések legalább elvileg jelentenek valamit, még ha a gyakorlatban nehéz is megválaszolni őket, és némelyiküknek az a hibája, hogy mesterséges szakadékokat támaszt a varratmentes folytonosságon. Ám a „Ki volt a legkorábbi emberelőd?" kérdés egyáltalán semmit sem jelent.

Az emberősök megtalálásáért folytatott verseny ennél alattomosabb módon azt is jelenti, hogy az újonnan felfedezett kövületeket a lehető legrégebbi „fő" emberi ágból származónak állítják be. Ám ahogy a föld egyre több kövületet nyújt, úgy válik egyre egyértelműbbé, hogy a hominidák történetének java részében Afrika egyidejűleg több hominida fajnak is otthont adott. Ez viszont azt jelenti, hogy több fosszilis faj, amelyről ma úgy véljük, hogy ősünk volt, végül csak unokatestvérnek bizonyul.

A különböző időpontokban, mióta a *Homo* megjelent Afrikában, nálánál jóval robusztusabb hominidákkal, esetleg különböző fajokkal osztozott a kontinensen. Rokonsági viszonyaik és a fajok pontos száma szokás szerint parázs vita tárgya. E lények különféle fajtáira aggatott nevek a következők (már találkoztunk velük *Az ezermester meséje* végén lévő grafikonon): *Australopithecus* (vagy *Paranthropus*) *robustus, Australopithecus* (vagy *Paranthropus,* vagy *Zinjanthropus*) *boisei* és *Australopithecus* (vagy *Paranthropus*) *aethiopicus.* Úgy tűnik, hogy „gracilisabb" (kecsesebb) emberszabásúakból fejlődtek ki (a gracilis a robusztus ellentéte). A gracilis emberszabásúak ugyancsak az *Australopithecus* nembe tartoztak, és csaknem biztosan mi is a kecses *Australopithecus*-félék soraiból fejlődtünk ki. Valójában gyakorta nehéz a korai *Homo* megkülönböztetése a gracilis *Australopithecus*-féléktől – ami felbátorított kirohanásomra azon névadási hagyományok ellen, amelyek különböző nemekbe helyezik őket.

A *Homo*k közvetlen elődeit valamiféle törékeny *Australopithecus*-féleként határozhatnánk meg. Nézzünk csak meg egy gracilis fosszíliát! Ples asszonyság iránt azóta érzek különös vonzalmat, mióta a pretoriai Transvaal Múzeum megajándékozott koponyája gyönyörű öntvényével, amikor a Sterkfontein közelében esett megtalálása tizenötödik évfordulóján előadást tartottam Robert Broom emlékére.

A hölgy 2,5 millió éve élt. Beceneve egyrészt a *Plesianthropus* nem nevéből származik, amelybe eredetileg sorolták, mielőtt eldöntötték volna, hogy mégis az *Australopithecus*ok közé iktatják, másrészt abból a tényből, hogy nőneműnek gondolták (talán tévesen, mint újabban vélik). Az egyes fosszilis hominidák gyakran kapnak ehhez hasonló becenevet. „Ples úr" természetesen egy ugyancsak Sterkfonteinből származó, nemrégiben előkerült kövület, amely ugyanabba a fajba, az *Australopithecus africanus*ba tartozik, mint Ples asszonyság. Más kövületek afféle beceneveket viselnek, mint „Drága Fiú", egy robusztus *Australopithecus*-féle, akit „Zinjnek" is hívnak, mert eredetileg *Zinjanthrophus boisei*nek nevezték el, aztán „Kisláb" és a híres Lucy, akit most veszünk szemügyre.



Lucy az égben, gyémántokkal
Éppen ez a Beatles-lemez szólt a táborban, amikor Donald Johanson és kollégái 1974-ben az etiópiai Afar-mélyföldön fekvő Hadarnál rábukkantak erre a híres csontvázra. Testalkata arra utal, hogy két lábon, bár csípőben és térdben meghajolva járt.

Lucyvel akkor találkozunk, amikor időgépünk órája a 3,2 milliomodik évhez ér. Egy újabb törékeny *Australopithecus*-féle, mondják róla gyakorta, mert faja, az *Australopithecus afarensis* esélyes versenyző az emberi ős címre. Megtalálói, Donald Johanson és munkatársai további 13 hasonló egyed fosszíliáit találták meg ugyanazon a helyen, így az „Első család" néven emlegetik őket. Azóta Kelet-Afrika más részein további „Lucyket" találtak 3 és 4 millió évvel ezelőttről. A Mary Leakey által Laetoliban talált 3,6 millió éves lábnyomokat (lásd 66. oldal) szintén az *A. afarensis*nek tulajdonítják. Bármi legyen is a latin neve, valaki nyilvánvalóan két lábon járt akkoriban. Lucy nem sokban különbözik Ples asszonytól, így némelyek Ples asszony korábbi változatának vélik. Mindenesetre jobban hasonlítanak egymásra, mint bármelyikük a robusztus *Australopithecus*-félékre. A korábbi kelet-afrikai Lucykről azt tartják, hogy kisebb agyuk volt, mint a későbbi dél-afrikai Ples asszonyoknak, de ennek nincs nagy jelentősége. Agyaik nem különböztek jobban egymástól, mint a modern emberi agyak más modern emberi agyaktól.

Mint ahogy már lassan számítunk is rá, a hozzánk közelebbi olyan *afarensis* egyedek, mint Lucy is, kissé különböznek a korábbi, 3,9 millió éves *afarensis* formáktól. A különbségek idővel összegyűlnek, és amikor úgy a 4 milliomodik évnél kiszállunk az időgépünkből, több olyan lényt is találunk, akik nagyon is lehettek Lucy és rokonsága ősei, de akik jobban hasonlítottak a csimpánzra, semmint hogy ne érdemelnének ki egy másik fajnevet. Meave Leakey és csapata a Turkana-tó melletti két lelőhelyen több mint 80 fosszíliáját tárták fel ezeknek az *Australopithecus anamensis*eknek. Ép koponyát nem találtak, de van egy pompás alsó állkapocs, amely hihetően lehetett valamely ősünkké.

Ám a korszakból származó legizgalmasabb felfedezés, amely megérdemli, hogy egy pillanatra megálljunk nála, egy olyan fosszília, amelynek teljes tudományos leírása még várat magára. Ezt a kedveskedően Kislábnak nevezett, a dél-afrikai Sterkfontein barlangjaiban előkerült csontvázat eredetileg 3 millió évesnek tartották, de a korát újabban valamivel 4 millió év fölé helyezik. Felfedezése felér egy Conan Doyle tollára kívánkozó detektívteljesítménnyel. Kisláb bal lábának darabkáit 1978-ban ásták ki Sterkfonteinban, de a csontok 1994-ig raktáron hevertek minden megjegyzés és felcímkézés nélkül, amikor is a Phillip Tobias irányítása mellett dolgozó paleontológus, Ronald Clarke véletlenül újra felfedezte őket a Sterkfontein-barlangokban dolgozó munkások fészerében heverő dobozban. Három évvel később Clark véletlenül egy másik, sterkfonteini csontokkal teli dobozra akadt a Witwatersrand Egyetem egyik raktárában. Ezen a dobozon a „Cercopithecoidok" felirat állt. Clarke-ot érdekelték ezek a majmok, és amikor belekukkantott a dobozba, örömmel pillantott meg egy hominida lábcsontot a majomcsontok között. Úgy tűnt, hogy a dobozban lévő több lábfej és lábcsont illeszkedik a sterkfonteini fészerben korábban talált csontokhoz. Az egyik egy félbetört jobb sípcsont volt. Clark ennek öntött másolatát adta oda két afrikai segédjének, Nkwane Molefének és Stephen Motsuminak, majd megkérte őket, menjenek vissza Sterkfonteinba, és keressék meg a másik felét.

> A rájuk bízott feladat olyan volt, mint a tű keresése a szénakazalban, hiszen a barlang egy hatalmas, mély és sötét üreg, melynek falait, padlózatát és mennyezetét kemény kőzettörmelék borította. Kétnapos kézilámpás keresés után 1997. július 3-án megtalálták.

Molefe és Motsumi kirakójátékos sikere azért is meglepő volt, mert az öntvényükhöz illeszkedő csont

> a korábbi ásatásunkkal éppen szemközt fekvő oldalon feküdt. Az illeszkedés tökéletes volt, bár a csontot jó 65 éve, vagy még korábban, szétrobbantották a mészkőbányászok. A jobb sípcsont szabadon álló végétől balra látható volt a bal sípcsont törött szárának egy részlete, amelyhez a bal sípcsont alsó része a lábfejcsontokkal csatlakozhatott. Ettől balra látható volt a bal szárkapocscsont törött szára. Az alsó végtagokhoz viszonyított, pontos anatómiai illeszkedésben lévő helyzetükből látszott, hogy az egész csontváznak valahol ott kellett lennie, arccal lefelé fekve.

Valójában nem egészen ott feküdt, de eltűnődve a hely geológiai csuszamlásain Clarke kikövetkeztette, hol kell lennie, és végül is Motsumi vésője meg is találta ott. Clarke és csapata valóban szerencsés volt, de nagyszerű példát láthatunk itt a tudósok Louis Pasteur óta érvényes szállóigéjére: „A szerencse a felkészült elméknek kedvez."

Kisláb még mindig nincs teljesen feltárva, leírva és hivatalosan elnevezve, de az előzetes beszámolók látványos, épségében Lucyvel versengő, ám régebbi leletet sejtetnek. Bár a nagylábujj inkább emberi, semmint a csimpánzéra hasonló, mégis jobban elál, mint a mienk. Ez arra utalhat, hogy Kisláb faágakat fogott meg vele úgy, ahogyan mi már nem tudunk. Bár csaknem biztosan két lábon járt, de a miénktől eltérő testtartásban, és mászott is. Akárcsak a többi *Australopithecus*-féle, a fán is tartózkodhatott, s talán a mai csimpánzokhoz hasonlóan ott töltötte az éjszakát.

Álljunk meg a 4 millió éves mérföldkőnél, és vessünk egy rövid pillantást a még előttünk álló útra. Van néhány töredékes maradvány egy feltehetően két lábon járó,

Australopithecus-szerű lénytől, a még korábbi, 4,4 millió évvel ezelőtti időből. Tim White és munkatársai találtak rá Etiópiában, egészen közel Lucy utolsó nyugvóhelyéhez. *Ardipithecus ramidus*nak* nevezték el, bár némelyek jobban szeretik őket megtartani az *Australopithecus* nemben. Eddig még nem került elő *Ardipithecus* koponya, de fogai alapján inkább hasonlított a csimpánzra, mint bármely későbbi emberféle. Fogzománca vastagabb volt, mint a csimpánzoké, de nem annyira, mint a miénk. Találtak néhány elszigetelt koponyacsontot, és ezek arra utalnak, hogy a koponya a gerincoszlop tetején ült, akárcsak a miénk, nem pedig az első részén, mint a csimpánzoknál. Ez függőleges tartást sejtet, és a megtalált lábfejcsontok is azt az elgondolást támasztják alá, hogy az *Ardipithecus* két lábon járt.

* Van, aki egy másik fajt is megkülönböztet, az *Ardipithecus kadabbát*.

A két lábon járás oly feltűnő módon elválasztja az embereket a többi emlőstől, hogy úgy érzem, megér egy mesét. És ki más volna alkalmasabb ennek elmondására, mint Kisláb?

Kisláb meséje

Nem sokat segít, ha megpróbáljuk megfejteni, hogy mire is jó a két lábon járás általában. Ha olyan jó lenne, a csimpánzok is így cselekednének, nem is beszélve a többi emlősről. Nincs magától értetődő oka annak, hogy azt mondjuk, akár a két lábon, akár a négy lábon való futás gyorsabb vagy hatékonyabb a másiknál. A galoppozó emlősök a hátgerinc fel- és lerugózását kihasználva meglepően gyorsak lehetnek ahhoz, hogy – más előnyei mellett – hosszabb tényleges lépéseket tegyenek. Ám a strucc bizonyítja, hogy az emberszerű kétlábas járásmód felveheti a versenyt a négylábú lóéval. Valójában egy élvonalbeli sprinter, noha számottevően lassabb, mint a ló vagy a kutya (netán a strucc vagy a kenguru, ha már itt tartunk), azért nem is szégyenletesen lassú. A négylábú majmok és az emberszabású majmok általában közepes futók, feltehetően azért, mert testalkatuknak meg kellett alkudnia egy mászó igényeivel. Még a rendesen a földön táplálkozó és futó páviánok is a fákra húzódnak alváskor és a ragadozók elleni menedékül, de ha rákényszerülnek, a páviánok gyorsan futnak is.

Így amikor megkérdezzük, őseink miért álltak fel hátsó lábaikra, és ha magunk elé idézzük a magunk mögött hagyott négylábú alternatívát, nem méltányos, ha mondjuk a „gepárd jut eszünkbe", vagy bármi más. Amikor őseink először felegyenesedtek, nem jutottak elsöprő előnyökhöz a hatékonyság vagy a sebesség terén. Valahol másutt kell keresnünk azt a természetes szelekciós nyomást, amely a testtartás e forradalmi változásához vezetett.

Más négylábúakhoz hasonlóan a csimpánzokat is be lehet idomítani a két lábon járásra, amit egyébként is gyakorolnak rövid távon. Úgyhogy vélhetően nem okozna számukra leküzdhetetlen nehézséget az áttérés, ha ebből komoly előnyeik származnának. Az orángutánok náluk is jobbak e téren. A vad gibbonok, akiknek leggyorsabb helyváltoztatási módszere a függeszkedés – vagyis a karjukkal ágról ágra lendülés –, a tisztásokon hátsó lábaikon futnak át. Más majmok felegyenesednek, hogy kikémleljenek a magas fűből vagy átgázoljanak a vízen. Egy maki, bár főként a fákon él, ahol pompás akrobata, hátsó lábain „táncol át" a fák között, miközben a karjait egy balett-táncos kecsességével tartja a magasba.

Az orvosok olykor arra kérnek bennünket, hogy maszkban fussunk helyben, hogy terhelés közben megmérhessék oxigénfelhasználásunkat és egyéb anyagcsere-mutatóinkat. 1973-ban C. R. Taylor és V. J. Rowntree, amerikai biológusok ugyanezt tették taposókerékben futó, idomított csimpánzokkal és csuklyásmajmokkal. Azzal, hogy hol négy lábon, hol két lábon futtatták az állatokat (amikor két lábon futottak, kapaszkodókat biztosítottak nekik), a kutatók összevethették a kétféle járásmód oxigénfogyasztási és hatékonysági értékeit. Arra számítottak, hogy a négy lábon futás hatékonyabb lesz. Végül is ezt műveli mindkét faj természetes helyzetben, és anatómiájuk is erre teszi alkalmassá őket. Meglehet a kétlábas tartást segítette az is, hogy fogódzkodtak. Mindenesetre éppen ellentétes eredményt kaptak. Az oxigénfogyasztásban nem mutatkozott lényeges különbség a két járásmód között. Taylor és Rowntree ebből az alábbi következtetést vonták le:

> A kétlábas futás relatív energiaköltsége, szemben a négylábassal, nem hozható fel érvként az ember két lábon járásának evolúciójáról folytatott vitában.

Még ha ez túlzás is, mindenesetre arra kell ösztönöznie bennünket, hogy másutt keresgéljünk szokatlan tartásmódunk lehetséges előnyei után. Felkelti a gyanút, hogy a két lábon járás evolúciója mozgatórugójaként bármiféle nem helyváltoztatási előnyt vetünk is föl, annak valószínűleg nem kellene megmérkőznie a magas helyváltoztatási költségekkel.

Vajon hogyan festhet egy nem helyváltoztatással kapcsolatos előny? Az Oregoni Egyetem kutatója, Maxine Sheets-Johnstone a szexuális szelekció gondolatébresztő elméletével állt elő. A hölgy szerint azért álltunk hátsó lábainkra, hogy megmutathassuk péniszünket. Már az, aki közülünk egyáltalában rendelkezik pénisszel. A nők szerinte éppen ellenkező okból cselekedtek így: hogy elrejtsék nemi szervüket, amely a főemlősöknél négy lábon jóval szembeötlőbb. Tetszetős ötlet, én mégsem tartok neki lámpást. Csupán a nem helyváltoztató *jellegű* elméletek példájaként említem. Miként a többi efféle elmélet esetében, úgy itt sem szűnünk meg tovább töprengeni azon, miért vonatkozhat ez éppen a mi leszármazási vonalunkra, a többi emberszabásúra és majomra viszont nem.

Egy másik elméletcsoport a kéz felszabadulását emeli ki a két lábra állás valódi előnyeként. Talán nem azért álltunk hátsó lábainkra, mert ez olyan jó módja a jövésmenésnek, hanem azért, amire aztán képessé váltunk a kezünkkel – például az élelemcipelés miatt. Sok emberszabású és majom fogyaszt olyan növényi táplálékot, amely bár széles körben hozzáférhető, de nem túl nagy bőségben vagy töménységben, így menés közben többé-kevésbé folyamatosan enniük kell, akár egy tehénnek. Más táplálékokat, mint például a húst vagy a föld alatti gumókat nehezebb megszerezni, de ha egyszer sikerült, akkor értékesek – érdemes őket annál nagyobb mennyiségben hazavinni, mint amennyit meg lehet enni belőlük. Amikor egy leopárd zsákmányt ejt, rendszerint az az első dolga, hogy felvonszolja egy fára, felakasztja az ágakra, ahol viszonylagos biztonságban van a prédáló dögevőktől, s ahová újra vissza tud térni, hogy falatozzon belőle. A leopárd erős állkapcsával tartja a tetemet, mert a fára mászáshoz mind a négy lábára szüksége van. Minthogy ősünknek jóval kisebb és gyengébb állkapcsa volt, mint a leopárdnak, vajon javára vált a két lábon járás tudománya, mert így felszabadult keze elcipelhette az élelmet – talán a párjának vagy a gyerekeknek, netán hogy szívességet tegyen a társainak, esetleg hogy bespájzolja későbbi, ínséges időkre?

Történetesen az utóbbi két lehetőség tán közelebb áll egymáshoz, mint ahogy első látásra hinnénk. Arról van szó (Steven Pinkernek javára írom ennek elmés kifejtését), hogy a hűtőszekrény feltalálása előtt a hús legjobb éléskamrája valamely társnak a gyomra volt. Hogyhogy? Természetesen maga a hús már nem hozzáférhető, de az általa vásárolt jóakarat biztonságban van a társ agyának hosszú távú raktárában. A társ emlékszik a szívességre, és a szerencse fordultával viszonozza.* A csimpánzokról is tudjuk, hogy szívességből megosztoznak a húson. A történelmi időkben ez a fajta kötelezvény a pénzben fejeződött ki.

Az „élelem hazavitele" elmélet egyik különös változata Owen Lovejoy amerikai antropológusé, aki felvetette, hogy a nőket gyakran akadályozhatta az élelemkeresésben a csecsemőgondozás, ezért képtelenek voltak széltében-hosszában élelem után járkálni. Az ennek következtében fellépő szegényes táplálkozás és tejtermelés késleltethette az elválasztást. A szoptatós nőstények terméketlenek. Az a hím, amelyik táplálja szoptatós nőstényét, felgyorsítja aktuális gyermekének elválasztását, és a nőstényt korábban termékeny állapotba hozza. Amikor erre sor kerül, a nőstény fogamzásképességét különösen azon hím számára teszi hozzáférhetővé, amelyik gondoskodása ezt a folyamatot felgyorsította. Így az a hím, amelyik sok élelmet tud hazahozni, szaporodásbeli előnyhöz juthat azon rivális hímmel szemben, aki egyszerűen csak megeszi azt, amit talál. Innét a két lábon járás evolúciója, amely felszabadította a kezeket a cipekedésre.

A kétlábasság evolúciójának egyéb feltevései a magasság előnyeit emelik ki, mondjuk azt, hogy egyenesen állva ki lehet látni a magas fűből, vagy vízben gázolva fejünket a víz fölött tarthatjuk. Ez utóbbi Alister Hardy fantáziadús „vízimajom" elmélete, amiért oly hathatósan tört lándzsát Elaine Morgan. Egy másik elmélet szerint, amit John Reader részesített előnyben elragadó afrikai életrajzában, a felegyenesedett testtartás következtében csökken a napnak való kitettség, hiszen a fejtetőre korlátozódik, amit ennek következtében borít védőszőrzet. Másfelől, amikor a test nem görnyed a föld fölé, gyorsabban képes megszabadulni a hőtől.

Kollégám, a neves művész és zoológus, Jonathan Kingdon *Lowly Origin* (Alacsony eredet) címen egy egész könyvet szentelt az emberi kétlábúság kérdésének. Miután érzékletesen bemutat 13 többé-kevésbé különböző elméletet, többek közt az általam áttekintetteket is, Kingdon kifejti saját árnyalt és sokoldalú elgondolását. Ahelyett hogy azonnali előnyét keresné a felegyenesedett járásmódnak, Kingdon olyan, mennyiségileg mérhető anatómiai módosulásokat taglal, amelyek valamely más oknál fogva léptek föl, de aztán megkönnyítették a két lábra állást (az efféle jelenség műszava: *preadaptáció*). A Kingdon által felvetett preadaptáció a kuporgó táplálkozással kapcsolatos. A kuporgó táplálkozás jól ismert a pusztai páviánok esetében, és Kingdon valami hasonlót képzel el a mi erdei majomőseink kapcsán is, amint köveket vagy avart forgatnak föl rovarok, férgek vagy csigák és egyéb tápláló morzsák után kutatva. Ahhoz, hogy ezt hatékonyan műveljék, bizonyára le kellett építeniük a fán való élethez szükséges néhány tulajdonságukat. Lábfejük, amely korábban az ágak markolásához kézszerű volt, ellaposodhatott, miáltal szilárd támasztékot nyertek a kuporgáshoz. Már biztosan kezd derengeni, mire is akar kilyukadni ez az érvelés. A guggoláshoz illő laposabb, kevésbé kézszerű lábak később preadaptációként szolgálnak a felegyenesedett járáshoz. Szokás szerint ekkor értjük meg, hogy ez a nyilvánvalóan célzatos beszédmód – vagyis hogy „le kellett építe-

* A darwinizmusban jól kifejtették a kölcsönös altruizmus elméletét. Robert Trivers úttörő munkája Robert Axelrod és mások modellezésével folytatódott. A halasztott viszonzásra épülő kereskedelmi szívességek valóban működnek. Saját értelmezésemet *Az önző génben*, annak is tokéntt a második kiadásában fejtettem ki.

niük" a fán hintázáshoz szükséges tulajdonságaikat és így tovább –, nem más, mint darwinista fogalmakra könnyedén lefordítható gyorsírás. Azok az egyedek, akiknek génjei történetesen lábukat alkalmasabbá tették a kuporgó táplálkozásra, fennmaradtak, és továbbadták azokat a géneket, mert a kuporgó táplálkozás hatékony volt, és segítette a fennmaradásukat. Továbbra is alkalmazom ezt a gyorsírást, mert összhangban van az ember természetes gondolkodásmódjával.

A fán hintázó, „függeszkedve haladó" (brachiáló) majmokról kis képzelőerővel azt mondhatnánk, hogy fordítva járkálnak – sőt az akrobatikus gibbon esetében futnak és ugranak – az ágakon, miközben a karjukat használják „lábként" és a vállövet „medenceként". Talán őseink is átestek ezen a függeszkedő fázison, aminek következtében a valódi medence a merev törzs jelentős részét képező, hosszú, széles csípőlapát csontjaival együtt elég mereven hozzákötődött a törzshöz, amely csak egyben képes elfordulni. Kingdon szerint ezek nagy részének meg kellett változnia ahhoz, hogy az ősi függeszkedőből hatékony kuporogva táplálkozó váljék. De mégsem mindennek. A karok hosszúak maradhattak. Valójában a hosszú függeszkedő karok előnyös preadaptációnak tekinthetők, mert megnövelték a kuporogva táplálkozó hatáskörét, és csökkentették az új kuporgó helyzetbe való fészkelődés gyakoriságának szükségességét. Ám a masszív, rugalmatlan, felül súlyos majomtörzs hátrányos lehetett egy kuporogva táplálkozó számára. A medencének ki kellett szabadulnia, hogy kevésbé mereven kötődjék a törzshöz, a csípőlapátcsontok pedig összezsugorodhattak – közelebb kerültek az emberi arányokhoz. Ez – megint csak előfeltételezve az érvelés későbbi fázisát (valójában, az egész preadaptációs elmélet az előfeltevésekről szól) – történetesen jobb medencét alakított ki a két lábon járáshoz. A derék hajlékonyabb lett, a gerinc függőlegeshez közelítő tartásba került, hogy a kuporogva táplálkozó állat körben keresgélhessen a karjaival, miközben elfordult lapos talpán és kuporgó tomporán. A vállak könnyebbé váltak, a törzs felülsúlyozottsága csökkent. A lényeg az, hogy ezek az apró mennyiségi változások, továbbá a velük együtt járó kiegyenlítő és kompenzáló módosulások történetesen olyan hatást gyakoroltak, hogy mintegy „előkészítették" a testet a két lábon járásra.

A világért sem arról van szó, hogy Kingdon a jövő valamiféle előfeltételezését javasolná. Csupán arról, hogy egy majomnak, amelynek ősei a fán hintáztak, és áttért az erdei talajon való kuporgó táplálkozásra, most olyan teste van, amelynek viszonylag *kényelmesebb* a hátsó lábon járás. És a kuporogva táplálkozás közben hozzá is fogott, hogy így cselekedjék, amikor a régibe belegémberedvén átcsoszogott egy új, kuporgó pozícióba. Anélkül hogy észrevették volna, mi is történik, a kuporogva táplálkozók nemzedékek során át arra készítették föl a testüket, hogy kényelmesebben érezzék magukat két lábra felegyenesedve, és egyre esetlenebbül érezzék magukat négy lábon. Szándékosan használom a *kényelmes* szót. Nem magától értetődő szempont ez. A tipikus emlősökhöz hasonlóan mi is képesek vagyunk négy lábon haladni, de ez kényelmetlen: megváltozott testarányaink miatt nehezünkre esik. Azok az arányokat illető változások, amelyek most a két lábon állást teszik kényelmessé, eredetileg a táplálkozási szokásokat illető apró változás (a kuporogva táplálkozás) szolgálatában jelentek meg – veti fel Kingdon.

Sok egyéb is rejlik Jonathan Kingdon árnyalt és összetett elméletében, de most könyvét, a *Lowly Origin*t az olvasó figyelmébe ajánlva, továbbhaladok. Az én kissé különc elméletem a két lábon járásról eléggé eltérő, de mégsem összeegyeztethetetlen

az övével. Valójában az ember két lábon járásának legtöbb elmélete kölcsönösen kiegészíti egymást, s bennük rejlik a lehetőség, hogy inkább segítsék, semmint gáncsolják egymást. Akár csak az emberi agy megnagyobbodása esetében, tapogatódzó feltevésem szerint a két lábon járás valószínűleg a szexuális szelekción keresztül fejlődött ki, így hát ezt a kérdést is *A páva meséjére* halasztom.

Az ember két lábon járásának evolúciós eredetének bármely elméletében higgyünk is, az esemény utóbb rendkívül nagy jelentőségűnek bizonyult. Korábban még lehetett azt vallani – miként azt egy neves antropológus is tette az 1960-as években –, hogy a többi emberszabásútól bennünket elválasztó döntő evolúciós esemény az agy megnagyobbodása volt. A hátsó lábakra állás csak másodlagosan jelent meg, amit a kéz felszabadításának előnye mozgatott, hogy elvégezhesse azt a fajta szakmunkát, amit a megnagyobbodott agy most már képes volt irányítani és kiaknázni. Az újabb fosszilis leletek határozottan éppen ellenkező sorrendre mutatnak. A két lábon járás volt az első. Lucy, aki jóval az 1. találkozás után élt, két lábon járt – csaknem vagy teljesen úgy, mint mi –, az agya mégis körülbelül akkora volt, mint egy csimpánzé. Az agy megnagyobbodása ettől még összekapcsolódhatott a kéz felszabadulásával, de az események fordított sorrendben követték egymást. Ha valami, hát a kéznek a két lábon járás általi felszabadítása aztán tényleg maga után vonhatta az agy megnagyobbodását. Először jött a kézi hardver és aztán a szabályzó „agy-ver", amely azért fejlődött ki, hogy éljen a helyzettel, nem pedig fordítva.

Utóhang Kisláb meséjéhez

Bármi magyarázza is a két lábon járás kifejlődését, az újabb fosszilis felfedezések arra látszanak utalni, hogy a hominidák két lábon jártak már egy olyan időszakban, amely nyugtalanítóan közel esik az 1. találkozáshoz, a csimpánzok és a mi vonalunk szétágazásához (nyugtalanítóan azért, mert így mintha túl kevés idő maradt volna a két lábon járás kialakulására). 2000-ben a Brigitte Senut és Martin Pickford vezette francia csapat bejelentette, hogy a Viktória-tótól keletre fekvő Tugen-hegyekben, Kenyában egy új kövületre bukkantak. A 6 millió évesnek meghatározott „Millenniumi Ember", aki az *Orrorin tugenensis* új fajnevet kapta, felfedezői szerint szintén két lábon járt. Szerintük combcsontja felső része a csípőízület táján inkább ember-, semmint *Australopithecus*-szerű. Ez a bizonyíték koponyacsont-töredékekkel kiegészítve azt sugallta Senut-nek és Pickfordnak, hogy az *Orrorin*ek és nem a Lucyk a későbbi hominidák ősei. Ezek a szorgalmas franciák továbbmerészkedve felvetik, hogy az *Ardipithecus* a mai csimpánzok őse, és nem is a miénk. E viták eldöntéséhez egyértelműen több kövületre van szükségünk. Más tudósok szkeptikusok ezekkel a francia felvetésekkel szemben, és némelyek abban is kételkednek, hogy elegendő bizonyíték utal-e arra, hogy az *Orrorin* két lábon járt. Ha igen, akkor a molekuláris bizonyítékok szerint 6 millió éve szakadtunk el a csimpánzoktól, és ez súlyos kérdéseket vet föl a két lábon járás kialakulásának sebességével kapcsolatban.

Ha a két lábon járó *Orrorin* vészesen közel került az 1. találkozáshoz, egy Michel Brunet vezette, ugyancsak francia csapat által Csádban, a déli Szaharában újonnan felfedezett koponya még inkább megzavarja a bevett eszméket. Ez részben a lelet



Az Élet Reménye
A *Sahelanthropus tchadensis* vagy Toumai koponyája, amit Michel Brunet és munkatársai 2001-ben fedeztek fel a csádi Szahel-övezetben.

korából, részben pedig abból adódik, hogy a lelőhely messze nyugatra esik a Rift-völgytől (miként látni fogjuk, sok szaktekintély szerint a korai hominidaevolúció a Rifttől keletre korlátozódott). A Toumai becenevet kapott lelet (amely a helyi gora nyelven annyit jelent: az 'Élet Reménye') hivatalos neve *Sahelanthropus tchadensis* lett lelőhelye, a csádi Szahel-övezet után. Zavarba ejtő koponyáról van szó, amely elölről meglehetősen emberszerű (hiányzik a csimpánzok vagy a gorillák előreugró arca), de hátulról csimpánzszerű, a csimpánzokéhoz hasonló méretű koponyaüreggel. Szemöldökcsontja rendkívül fejlett, vastagabb, mint a gorilláé, ezért is gondolják, hogy Toumai hím volt. A fogak meglehetősen emberszerűek, különösen a zománc vastagsága, amely a csimpánzé és a miénk közti átmenetet képvisel. Az öreglyuk (a koponyaalapon lévő nagy lyuk, amelyen a gerinchúr áthalad) előrébb helyezkedik el, mint a csimpánzé vagy a gorilláé, amely Brunet számára azt jelentette, bár mások számára nem, hogy Toumai két lábon járt. Ideális esetben ezt a medencének és a lábcsontoknak kell megerősítenie, de sajnos még csak egy koponyát találtak.

A térségben nincsenek vulkanikus maradványok, amelyek sugárzásmérési adatokat szolgáltatnának, így Brunet csapatának a térség egyéb fosszíliáit kellett közvetett óraként használnia. Ezeket összevetették az Afrika más részeiről származó, pontosan keltezhető, ismert faunával. Az összevetés Toumait 6–7 millió évesre hozza ki. Brunet és munkatársai szerint idősebb, mint az *Orrorin*, ami megjósolhatóan rosszalló megjegyzéseket váltott ki az *Orrorin* felfedezőiből. Egyikük, Brigitte Senut, a Párizsi Természetrajzi Múzeum munkatársa szerint Toumai „egy nőstény gorilla", míg kollégája, Martin Pickford úgy írta le Toumai szemfogait, mint amelyek „egy nagy nőstény majomra" jellemzőek. Emlékezzünk, ők ketten húzták le (meglehet joggal) az *Ardipithecus* emberi bizonyítványát, aki ugyancsak fenyegetést jelentett saját gyermekük, az *Orrorin* elsőségére. Más szaktekintélyek lelkesebben üdvözölték Toumait: „Elképesztő." „Bámulatos." „Felér egy kisebb atombombával."

Ha felfedezőiknek igazuk van abban, hogy az *Orrorin* és Toumai két lábon jártak, ez bizony problémákat állít az ember eredetéről szőtt, minden hullámszerű elmélet elé. A naiv elvárás szerint az evolúciós változás egyenletesen terjed, hogy kitöltse a rendelkezésére álló időt. Ha az 1. találkozás és a mai *Homo sapiens* között 6 millió év telt el, akkor a változás mértékét be kell osztani egységenként, gondolhatnánk naivan, a 6 millió éven át. Ám mind az *Orrorin*, mind Toumai nagyon közel élt a molekuláris bizonyítékok alapján az 1. köz-ősre meghatározott időponthoz, amikor elvált a mi vonalunk a csimpánzokétól. Némelyik kormeghatározás szerint ezek a kövületek meg is előzik az 1. köz-őst.

Feltéve, hogy a molekuláris és fosszilis kormeghatározások pontosak, négy útjamódja (vagy a négy valamely kombinációja) kínálkozik arra, hogy választ találjunk az *Orrorin* és Toumai kérdésére.

1. Az *Orrorin* és/vagy Toumai négy lábon járt. Ez nem valószínűtlen, ám a hátralévő három lehetőség a vita kedvéért azzal számol, hogy hamis. Ha elfogadjuk az 1. változatot, a probléma elillan.
2. Egy rendkívül gyors evolúciós robbanás játszódott le közvetlenül az 1. köz-ős után, aki maga is négy lábon járt, mint egy csimpánz. Az inkább emberszerű *Orrorin* és Toumai olyan gyorsan fejlesztették ki a két lábon járást az 1. köz-ős után, hogy az időpontok szétválasztása nem egykönnyen megoldható.
3. Az emberi jellemvonások, így a két lábon járás, esetleg többször is kialakulhattak. Az *Orrorin* és Toumai korábbi alkalmakat képviselhetnek, amikor az afrikai majmok a két lábra állással és talán egyéb emberi jellemvonásokkal is kísérleteztek. Ezen elmélet szerint valóban megelőzhették az 1. köz-őst úgy, hogy két lábon jártak, míg a mi leszármazási vonalunk egy későbbi behatolást képviselne a két lábon járás területére.
4. A csimpánzok és gorillák jobban emberszerű, sőt két lábon járó ősöktől származnak, s csak később tértek vissza a négylábúsághoz. Ezen elmélet szerint mondjuk Toumai lehetne az 1. köz-ős.

Az utóbbi három feltételezésnek is megvannak a maguk nehézségei, és sok szaktekintély érez késztetést arra, hogy kételkedjék Toumai és az *Orrorin* kormeghatározásában vagy feltételezett két lábon járásában. Ám ha pillanatnyilag elfogadjuk ezeket, és megnézzük az ősi két lábon járás három feltételezését, nincs semmiféle elméleti oka annak, hogy valamelyiket előnyben részesítsük, vagy elvessük. *A galápagosi pinty meséjé*ből és *A tüdős hal meséjé*ből megtudjuk, hogy az evolúció lehet rendkívül gyors vagy rendkívül lassú, így a 2. elmélet nem elképzelhetetlen. *Az erszényesvakondok meséjé*ből megtanuljuk, hogy az evolúció követheti ugyanazt az ösvényt, meghökkentően párhuzamos ösvényt, vagy többször is ugyanarra az útra léphet. Így semmi különösebb hihetetlen nincs a 3. elméletben. Első látásra talán a 4. elmélet tűnik a legmeglepőbbnek. Annyira hozzászoktunk ahhoz az eszméhez, hogy az emberszabásúak közül emelkedtünk „föl", hogy a 4. elméletben mintha a kocsi húzná a lovat, mi több, még az emberi méltóságot is inzultálja (tapasztalatom szerint gyakran jót is nevetnek rajta). Emellett van egy úgynevezett törvény is, a Dollo-törvény, amely leszögezi, hogy az evolúció soha nem fordul vissza, és a 4. elmélet mintha ezt látszana megszegni.

A Dollo-törvényről szóló történet, *A barlangi vaklazac meséje* majd meggyőz bennünket arról, hogy ez utóbbi nem igaz. Elvileg semmi téves nincs a 4. elméletben. A csimpánzok valóban áteshettek egy jobban emberszerűbb, két lábon járó szakaszon, mielőtt visszatértek volna a négylábú majomsághoz. Történetesen éppen ez a felvetés kel életre John Gribbin és Jeremy Cherfas két könyvében, a *The Monkey Puzzle*-ban (Majomfejtörő) és a *The First Chimpanzee*ban (Az első csimpánz). Odáig merészkednek, hogy felvetik, a csimpánzok a kecses *Australopithecus*-féléktől (mint Lucy), a gorillák pedig a robusztus *Australopithecus*-féléktől (mint a Drága Fiú) származnak. Ehhez az egy az egyben radikális felvetéshez meglepően jó érvelést alkalmaznak. Az emberi evolúció olyan értelmezésére építenek, amelyet már régóta sokan elfogadtak, jóllehet nem minden vita nélkül: az emberek olyan serdülő majmok, akik szexuálisan soha nem értek meg. Vagy másként fogalmazva, olyanok vagyunk, mint a soha fel nem nőtt csimpánzok.

Az axolotl meséje a neoténiaként ismert elméletet fejti ki. Összefoglalva, az axolotl egy túlméretezett lárva, egy nemi szervekkel rendelkező ebihal. Vilém Laufberger Németországban elvégzett klasszikus kísérletében a hormoninjekciók rávettek egy axolotlot arra, hogy egy még soha nem látott fajtájú, teljesen kifejlett szalamandrává változzék. Az angol ajkú világban jobban ismert Julian Huxley esete, aki később megismételte a kísérletet, nem tudván, hogy azt már elvégezték. Az axolotl esetében a felnőtt fázis levált az életciklus végéről. A kísérletileg beinjekciózott hormon hatására az axolotl végül felnőtt, és egy vélhetően korábban soha nem látott felnőtt szalamandra teremtődött újjá belőle. Helyreállt az életciklus utolsó fázisa.

A leckét nem felejtette el Julian öccse, a regényíró Aldous Huxley. Tinédzserkoromban az *After Many a Summer* (Oly sok nyár után)* volt a kedvenc regényem. A regény egy gazdag emberről, Jo Stoyte-ról szól, aki hasonlít William Tandolph Hearsthöz, és ugyanolyan mohó közömbösséggel gyűjt műtárgyakat. Szigorú vallásos neveltetése halálfélelmet hagy maga után, ezért felfogad egy kiváló, ám cinikus biológust, dr. Sigismund Obispót, és mindennel ellátja, hogy kutassa ki, miként lehet meghosszabbítani az életet általában, és különösen Jo Stoyte életét. Felvettek egy (szerfölött) brit tudóst, Jeremy Pordage-ot, hogy katalogizáljon holmi alkalmi vételként Stoyte úr könyvtára számára nemrégiben beszerzett tizennyolcadik századi kéziratokat. Egy régi naplóban, amely Gonister 5. earljéé volt, Jeremy szenzációs felfedezésre bukkan, amit megoszt dr. Obispóval. Az öreg earl forró nyomon járt az örök élet nyomán (nyers halbelet kell enni), és nincs is nyoma halálának. Obispo magával viszi Angliába az egyre riadtabb Stoyte-ot, hogy megkeressék az 5. earl maradványait... és 200 évesen életben találják. A turpisság az, hogy ő végül felnőtt majommá érlelte azt a serdülő majom állapotot, amelyben mi, többiek leledzünk: négy lábon járó, szőrös, visszataszító, padlóra vizelés közben Mozart-ária-foszlányokat dúdoló lénnyé. Az ördögi dr. Obispo vidáman nevet a markába, és nyilvánvalóan Julian Huxley munkássága ismeretében megjegyzi Stoyte-nak, hogy másnap kezdheti a halbélkúrát.

* Az amerikai kiadás kikerekíti a tennysoni idézetet: „Dies the Swan" (...meghal a hattyú).

Gribbin és Cherfas valójában arra céloznak, hogy a mai csimpánok és gorillák olyanok, mint Gonister earlje. Emberek (vagy *Australopithecus*-félék, vagy *Orrorin*ok, vagy *Sahelanthropus*-félék) akik felnőttek, és újra négylábú emberszabásúakká váltak, mint az ő és a mi távolabbi őseink. Sosem gondoltam, hogy a Gribbin–Cherfas-elmélet eleve ostobaság. Az igen ősi hominidák olyan új leletei, mint amilyen az *Orrorin* vagy Toumai, akiknek kora ellentmond a csimpánzoktól való elszakadásunkénak, mintegy *sotto voce* igazolják őket, mondván: „Mi megmondtuk."

Még ha elfogadjuk is, hogy az *Orrorin* és Toumai két lábon járt, akkor sem tudnék biztosan választani a 2., a 3. és a 4. elmélet közül. És nem szabad elfelejtenünk az 1. elméletet, amelyet sokan a leghihetőbbnek tartanak, miszerint e lények négy lábon jártak – és a probléma megszűnik. Ám természetesen ezek a különböző elméletek jóslásokba bocsátkoznak az 1. köz-őssel, következő megállónkkal kapcsolatban. Az 1., a 2. és a 3. elmélet megegyezik abban, hogy egy csimpánzszerű, négy lábon járó 1. köz-őst feltételeznek, aki azonban alkalmilag hátsó lábaira állt. Ezzel ellentétben a 4. elmélet egy emberhez hasonlóbb 1. köz-őst feltételez. Az 1. találkozás elbeszélésekor az elméletek közül választani kényszerültem. Bizonyos mértékig vonakodva tartok a többséggel, és feltételezek egy csimpánzszerű köz-őst. Fel hát a találkozásra!

1. TALÁLKOZÁS ■ CSIMPÁNZOK

1

Valamikor 5–7 millió évvel ezelőtt, valahol Afrikában mi, ember zarándokok jelentőségteljes találkozásnak örvendhetünk. Ez az 1. találkozás, első találkozónk más fajú zarándokokkal. Pontosabban két másik fajjal, mivel a közönséges csimpánz zarándokok és a törpecsimpánz vagy bonobó zarándokok már vagy 4 millió évvel ezelőtt egyesítették erőiket, „mielőtt" velünk találkoztak volna. Velük közös ősünk, az 1. köz-ős a mi 250 ezredik nagyszülőnk – ami persze csak megközelítő becslés, akárcsak a többi hasonló, amit a többi köz-őssel kapcsolatban is teszek.

Az 1. találkozáshoz közeledve a csimpánz zarándokok másik irányból ugyanoda tartanak. Sajnos erről a másik irányról semmit sem tudunk. Bár Afrika ezerszámra eredményezett hominida kövületeket vagy kövülettöredékeket, soha egyetlen olyat sem találtak, amelyet biztosan az 1. köz-őstől leágazó csimpánz ágba tartozónak lehetne tekinteni. Talán abból adódik ez, hogy erdőlakók, márpedig az erdei alom nem kedvez a fosszíliáknak. Bármi is az oka, azt jelenti, hogy ők sötétben tapogatóznak. A csimpánzoknak a Turkana Fiúval, az ezernégyszázhetvenessel, Ples aszszonnyal, Lucyvel, Kislábbal, Drága Fiúval és a „mi" többi kövületünkkel egykorú ősét még soha nem találták meg.

Mindazáltal képzeletünkben a csimpánz zarándokok valamely pleisztocén kori erdei tisztáson találkoznak velünk, miközben sötétbarna szemeik, akárcsak a mi kevésbé megjósolható színű szemeink, az 1. köz-ősön csüngenek, aki éppúgy ősük nekik is, mint nekünk. Miközben megpróbáljuk elképzelni a közös őst, magától vetődik fel a kérdés, vajon inkább egy mai csimpánzra vagy egy mai emberre hasonlít, netán köztes lény, vagy mindkettőtől teljesen különbözik?

SZEMKÖZTI OLDAL
„GYAKRAN ÁLLÍTOTTÁK, HOGY AZ ÁLLATOK EGYÁLTALÁN NEM HASZNÁLNAK ESZKÖZT"
Közönséges csimpánz *(Pan troglodytes)*, amint egy bottal termeszt „pecázik".

Az előző fejezet végén lévő tetszetős fejtegetés ellenére – amit semmi esetre sem zárnék ki –, a visszafogott válasz az, hogy az 1. köz-ős inkább a csimpánzra hasonlított, ha másért nem, hát már azért is, mert a csimpánzok jobban hasonlítanak a többi emberszabásúra, mint az emberek. Az ember a kakukktojás az emberszabásúak közt elevenen és kövületként is. Ami csupán annyit jelent, hogy több evolúciós változás jelent meg a közös őstől elágazó emberi vonalon, mint a csimpánzokhoz vezető vonalon. Sok laikushoz hasonlóan nem szabad azt feltételeznünk, hogy őseink csimpánzok *voltak*. Valójában a „hiányzó láncszem" kifejezés is erre a félreértésre utal. Még mindig hallhatunk efféle megjegyzéseket: „Nos, ha a csimpánzoktól származunk, miért vannak még mindig csimpánzok?"

Így amikor mi és a csimpánz/bonobó zarándokok találkozunk a találkahelyen, valószínű, hogy a közös ős, akit azon a pleisztocén kori tisztáson üdvözlünk, szőrös volt, mint egy csimpánz, és csimpánz méretű agya volt. Vonakodva félreteszem az

A CSIMPÁNZOK CSATLAKOZNAK
A fehér vonal ábrázolja a csimpánzok és az emberek evolúciós fáját (vagy „fejlődéstörténetét"), amely az 1. közösnél ágazott el (számozott kör jelzi).
A jobb oldali függőleges ág jelenti a zarándokok aktuális összetételét, ez esetben csak az embereket. A bal oldali ág mutatja, hogy a csimpánzok körülbelül 2 millió éve kettéváltak.
Ha felnagyítanánk az egyik vonalat, nem tömörnek látnánk, hanem összefonódások kusza hálózatának, ahogy azt a 0. találkozás emberiség grafikonján ábrázoltuk. Mostantól továbbra is ezt a tömör vonalas megjelenítést alkalmazzuk.

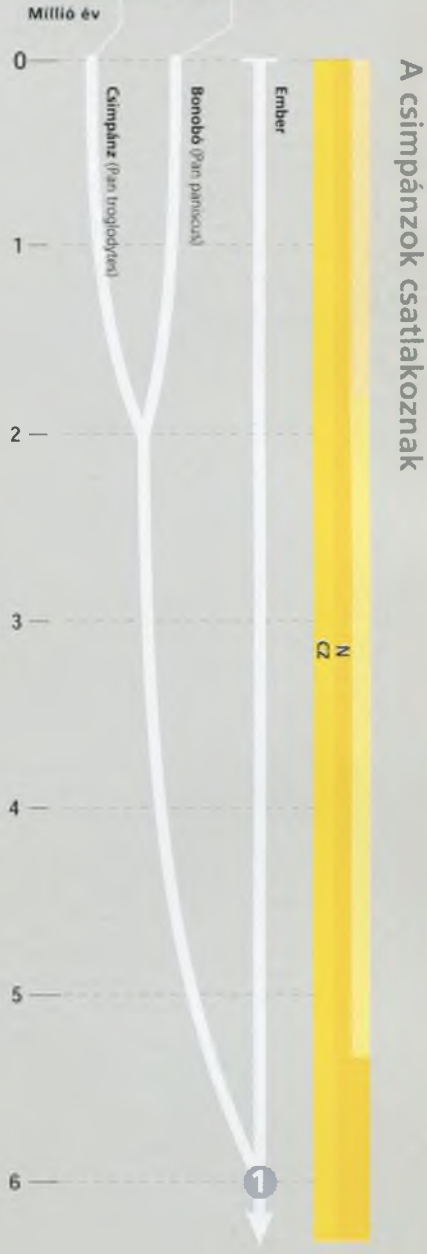
KÉPEK JOBBRÓL BALRA: csimpánz *(Pan troglodytes)*, bonobó *(Pan paniscus)*

előző fejezet eszmefuttatásait, amikor azt mondom, hogy feltehetőleg kezein (ujjízületein) és a lábain járt, mint egy csimpánz. Vélhetően a fákon is időzött, de sokat tartózkodott a földön is, talán kuporogva táplálkozva, ahogy Jonathan Kingdon mondaná. Minden számba vehető bizonyíték arra utal, hogy Afrikában élt, és csakis Afrikában. Helyi hagyományokat követve talán használt és készített eszközöket, miként a csimpánzok a mai napig teszik. Valószínűleg mindenevő volt, bár leginkább a gyümölcsöket kedvelte, és olykor vadászott is.

Bonobókat is láttak már kormoránokat ölni, de gyakrabban figyeltek meg közönséges csimpánzokat vadászat, cerkófmajmok jól szervezett, csoportos üldözése közben. Ám a hús csak kiegészítő táplálék a gyümölcs mellett, amely mindkét faj fő tápláléka. Jane Goodall, aki elsőként fedezte fel a csimpánzok vadászatát és a csoportjaik közti háborúskodást, ugyancsak elsőként számolt be mára híressé vált szokásukról, amint saját készítésű bottal termeszt pecáznak. Bonobókat még nem láttak ilyen tevékenység közben, de ez nem kizáró ok, hiszen őket kevesebbet tanulmányozták. A fogságban lévő bonobók készségesen használnak eszközö-







A csimpánzok csatlakoznak



ket. Az Afrika különböző részein élő közönséges csimpánzok az eszközhasználat helyi hagyományait alakították ki. Ahol Jane Goodall állatai a hegygerinc keleti oldalán termeszeket pecáztak, a nyugati oldal csoportja kő- és fakalapácsok, valamint üllők segítségével a diótörés helyi hagyományát fejlesztette ki. Ehhez bizonyos ügyesség azért szükségeltetik. Elég erőset kell ütni ahhoz, hogy a héj feltörjön, de nem annyira erőset, hogy összelapítsuk a dióbelet.

Bár gyakran új és izgalmas felfedezésként emlegetik, mindenesetre a diótörésről Darwin így szól *Az ember származása* (1871) 3. fejezetében:

> Gyakran mondják, hogy az állatok nem használnak semmiféle eszközt, de a természetes állapotban lévő csimpánz egy kővel feltöri a természet olyasféle gyümölcseit, mint a dió.

A Darwin által idézett bizonyíték (egy libériai misszionárius beszámolója a *Boston Journal of Natural History* 1843-as számában) rövid és nem pontos. Egyszerűen arról számol be, hogy „a *Troglodytes niger,* vagyis az afrikai fekete orang" kedvel egy bizonyos pontosan nem azonosított diót, amit „kővel törnek fel, ugyanúgy, mint az emberi lények".

A legérdekesebb a diótörésben, a termeszpecázásban és egyéb efféle csimpánzszokásokban az, hogy az egyes helyi csoportoknak helyileg áthagyományozott, helyi szokásaik vannak. Márpedig ez valódi kultúra. A helyi kultúra kiterjed a szociális szokásokra és viselkedésre. Például egy helyi csoportnak a tanzániai Mahale-hegységben van egy sajátos gesztusa a társas kurkászásra, ami összekulcsolt kezű kurkászásként ismert. Ugyanezt a gesztust megfigyelték az ugandai Kibale-erdőség egy másik populációjánál, de soha nem látták Jane Goodall behatóan tanulmányozott Gombe-patak menti népességében. Érdekes módon ez a gesztus magától felbukkant és elterjedt egy fogva tartott csimpánzcsoportban is.

Ha mindkét mai csimpánz használt eszközöket a vadonban, akárcsak mi, ez felbátoríthat bennünket arra a gondolatra, hogy esetleg az 1. köz-ős is így tett. Szerintem lehet, hogy így volt, még akkor is, ha a bonobókat nem láttak még eszközt használni a vadonban, de a fogságban ügyes szerszámforgatók. Az a tény, hogy a közönséges csimpánzok az egyes területeken helyi hagyományt követve más és más szerszámokat használnak, azt sugallja nekem, hogy az ilyen hagyomány hiánya egy területen nem tekinthető negatív bizonyítéknak. Mindenesetre Jane Goodall Gombe-patak menti csimpánzait nem látták diót törni. Feltehetően törhettek diót, ha a nyugat-afrikai diótörő hagyomány eljutott hozzájuk. Azt gyanítom, ugyanez érvényes lehet a bonobókra. Meglehet, csupán nem tanulmányozták őket eleget a vadonban. Mindenesetre szerintem elég erős utalások vannak arra nézve, hogy az 1. köz-ős készített és használt eszközöket.

Ezt megerősíti az is, hogy az eszközhasználat a vad orangutánok közt is felbukkan, ahol a helyi populációk eltérése megint csak helyi hagyományokra utal.* A csimpánz ág mindkét mai képviselője erdei emberszabású, míg mi szavannalakók vagyunk, akár a páviánok – bár a páviánok egyáltalán nem emberszabásúak, hanem majmok. A bonobók manapság a Kongó folyó nagy kanyarulatától délre elterülő erdőkben, és a Kasai nevű mellékfolyójától északra élnek. A közönséges csimpánzok a kontinens szélesebb övezetét lakják, a Kongótól északra és attól nyugatra a tengerpartig elterülő vidéken, kelet felé pedig egész a Rift-völgyig (Nagy Hasadék-völgy).

1. köz-ős
Ezen a rekonstrukción egy hím és egy nőstény példány afrikai erdei környezetben látható. Az 1. köz-ős talán ujjízületein és alkalmilag két lábon is járt. Valószínűleg kis csoportokban élt, főként gyümölcsökkel táplálkozott, és a mai csimpánzokhoz hasonlóan egyszerű eszközöket használt.

* Az eszközhasználat mindenesetre elterjedt az emlősök és a madarak esetében, ahogy maga Jane Goodall (és mások) kimutatták.

Miként majd meglátjuk *A bölcsőszájú hal meséjé*ben, a jelenlegi darwinista ortodoxia szerint ahhoz, hogy egy ősi faj két leányfajra szakadjon, egy véletlen geográfiai elkülönülésre van szükség. A földrajzi korlát nélkül a két génállomány szexuális keveredése együtt tartja őket. Elképzelhető, hogy a nagy Kongó folyó jelentette azt a gátat a génáram útjában, amely hozzájárult a két csimpánzfaj 2 vagy 3 millió évvel ezelőtti evolúciós elválásához. Hasonlóképp felvetődött, hogy a Rift-völgy születése jelentette azt az akadályt a génáram útjában, amely a még távolabbi múltban lehetővé tette a mi águnknak, hogy elkülönüljön a csimpánzok kialakulásához vezetőtől.

Ezt a Rift-völgy elméletet a neves holland főemlőskutató, Adriaan Kortlandt vetette föl és bizonygatta, ám igazán akkor terjedt el, amikor Yves Coppens francia paleontológus is a magáévá tette, s most az ő által adott néven ismert – East Side Story. Nem is tudok mit kezdeni azzal a ténnyel, hogy szülőhazájában, Franciaországban Yves Coppens-re szüntelen úgy hivatkoznak, mint Lucy felfedezőjére, sőt „atyjára", holott az angol nyelvterületen ezt a fontos felfedezést egyetemlegesen Donald Johansonnak tulajdonítják. Az East Side Storynak meggyűlt a baja a Rift-völgytől több ezer mérföldnyire nyugatra fekvő Csádban előkerült *Sahelanthropus*szal. Tovább fokozza a bajt az ugyancsak Csádban felfedezett, kevéssé ismert, és fiatalabb *Australopithecus*-fele, az *Australopithecus bahrelghazali*.

Bármit mondok is a kérdésről, hamarosan idejétmúlttá válik, amint új fosszíliákat tárnak fel, úgyhogy ezen a ponton át is adom a szót a bonobónak.

A BONOBÓ MESÉJE

A bonobó vagy *Pan paniscus* nagyon hasonlít a közönséges csimpánzra, a *Pan troglodytes*re, úgyhogy 1929 előtt nem is tartották őket külön fajoknak. A bonobó – másik neve: a törpecsimpánz ellenére, amit el kellene felejteni – látszólag nem kisebb a közönséges csimpánznál. Testfelépítésének arányai és szokásai viszont némileg eltérőek, s ez a tény adja meg az intést rövid meséjéhez. Frans de Waal főemlőskutató találóan fogalmaz: „A csimpánz a szexuális kérdést erővel oldja meg, a bonobó szexszel oldja meg az erő kérdését..." A kopulációt vagy a kopulatív gesztusokat használják megbékítésre, a dominancia megerősítésére, a csoport bármilyen korú vagy nemű tagjaival kialakított kötelék megerősítésére, beleértve a kicsiket is. A pedofília nem akadály a bonobóknál; úgy tűnik, a szeretet minden fajtája elfogadott náluk. De Waal leírja, hogy egy fogságban tartott bonobócsoport hímjeinél erekció jelentkezett, amikor az etetési időben a gondozó közeledett hozzájuk. De Waal arra gondol, hogy így készültek elő a szexualitás közvetítette élelemmegosztásra. A nőstény bonobók párokra különülve gyakorolják az úgynevezett GG (genitális–genitális) dörzsölést.

> Az egyik nőstény a másik felé fordulva karjával és lábával átöleli azt, aki négykézlábra állva felemeli az előzőt a földről, majd genitális duzzanataikat vízszintesen egymáshoz dörgölik, miközben vicsorognak és visítanak, ami talán orgazmusélményre utal.

A szabad szerelemben élő bonobókról kialakított „Haight–Ashbury" kép egyfajta álmodozáshoz vezetett a hippik körében, akik talán az 1960-as években váltak

nagykorúvá – vagy tán a „középkori bestiárium" gondolatkörében mozogtak, amelyben az állatok csak az erkölcsi lecke erejéig léteznek számunkra. Az álmodozás azzal kapcsolatos, hogy közelebb állunk a bonobókhoz, mint a közönséges csimpánzokhoz. A bennünk élő Margaret Mead közelebb érzi magát ehhez a szelíd szerepmodellhez, mint a patriarchális, majmot mészároló csimpánzhoz. Sajnos azonban – tetszik vagy nem tetszik – pontosan egyformán közel állunk mindkét fajhoz. Ez pedig egyszerűen abból adódik, hogy a *P. troglodytes* és a *P. paniscus* olyan közös ősön osztoznak, amely hozzánk időben közelebb élt, mint velünk közös ősük. Ráadásul a molekuláris bizonyítékok arra utalnak, hogy a csimpánzok és a bonobók közelebb állnak az emberekhez, mint a gorillákhoz. Ebből következően az ember ugyanolyan közel áll a gorillákhoz, mint a csimpánzok és a bonobók, továbbá pontosan olyan fokú unokatestvérei vagyunk az orángutánoknak, mint a csimpánzok, a bonobók és a gorillák.

Nem következik viszont mindebből, hogy egyformán *hasonlítunk* a csimpánzokra és a bonobókra. Ha a csimpánzok jobban megváltoztak közös ősünkhöz, az 1. köz-őshöz képest, akkor esetleg jobban hasonlítunk a bonobókhoz, mint a csimpánzokhoz, és megfordítva – és talán más dolgokat találunk közösnek mindkét *Pan* unokatestvérünkben, meglehet nagyjából egyforma mértékben. Egyformán közeli rokonaink, mert ugyanaz a közös ős kapcsol össze bennünket. Ez *A bonobó meséjének* tanulsága: egyszerű, de nagyon általános tanulság, amellyel lépten-nyomon találkozunk majd zarándokutunk kereszteződéseinél.

2. TALÁLKOZÁS ■ GORILLÁK

2

A molekuláris óra azt mutatja, hogy a megint csak Afrikában lejátszódó 2. találkozás, ahol a gorillák csatlakoznak hozzánk, csupán egymillió évvel van távolabb zarándokutunkon az 1. találkozástól. Hétmillió évvel ezelőtt Észak- és Dél-Amerika még nem állt össze, az Andok még nem emelkedett magasba, és a Himalája is csak éppen megindult fölfelé. Mindazonáltal a kontinensek nagyjából úgy nézhettek ki, mint manapság, és az afrikai éghajlat, bár kevésbé volt évszakhoz kötött, és kissé nedvesebb is volt, hasonló lehetett a maihoz. Afrikát sűrűbben borították az erdők, mint ma, sőt akkoriban még a Szahara is erdős szavanna lehetett.

Sajnos nem áll rendelkezésünkre olyan kövület, amely áthidalná a szakadékot a 2. és az 1. köz-ős között, semmi, amely segítene eldönteni, hogy vajon a 2. közös, amely talán 300 ezredik nagyszülőnk volt, inkább a gorillához vagy a csimpánzhoz, netán az emberhez hasonlított-e jobban. Én a csimpánzra tippelnék, de csak azért, mert a hatalmas gorilla kivételesebbnek tűnik, kevésbé hasonlít az emberszabásúak átlagához. Mégse túlozzuk el azonban a gorilla szokatlanságát. Nem ők a legnagyobb valaha élt emberszabásúak. Az ázsiai emberszabású, a *Gigantopithecus,* egyfajta óriás orangután magasabb és vállasabb is volt, mint a legnagyobb gorilla. Kínában élt, és csak nemrégiben, körülbelül félmillió éve halt ki, úgyhogy átfedték egymást a *Homo erectus*szal és az archaikus *Homo sapiens*szel. Olyan közeli, hogy némelyek vállalkozó fantáziája odáig megy, hogy szerintük a Jeti, a himalájai majomember... de nem is folytatom. A *Gigantopithecus* feltehetően gorillamódra, kézbütykein és a talpán járt, ahogy a gorillák és a csimpánzok, de ahogy a fáknak elkötelezett orangutánok nem.

Ésszerű tippelés, hogy a 2. köz-ős szintén bütykönjáró volt, de emellett a csimpánzokhoz hasonlóan a fákon is időzött, különösen éjszaka. A trópusi nap alatti természetes szelekció előnyben részesíti a pigmentációt az ultraibolya sugarak elleni védekezésül, úgyhogy, ha meg kellene tippelnünk a 2. köz-ős színét, feltehetően feketét vagy sötétbarnát mondanánk. Az ember kivételével minden emberszabású szőrös, tehát meglepő lenne, ha az 1. és a 2. köz-ős nem az lenne. Mivel a csimpánzok, a bonobók és a gorillák a sűrű erdő lakói, a 2. találkozást kézenfekvő egy afrikai erdőbe helyezni, de nincs különösebb okunk, hogy Afrika valamely meghatározott részére tippeljünk.

A gorillák nem csupán óriás csimpánzok, hanem sok tekintetben mások, amelyekről el kell gondolkodnunk, ha rekonstruálni akarjuk a 2. köz-őst. A gorillák teljesen vegetáriánusok. A hímek háremet tartanak. A csimpánzok inkább promiszkuitásban élnek, és a párzási rendszert illető eltérések érdekes következményekkel járnak

A GORILLÁK CSATLAKOZNAK
A származástan szerint a gorillák a többi afrikai emberszabásútól körülbelül 7 millió éve különültek el, ahogy a genetika is erre utal. A jobb oldali ág ma a csimpánzoknak és az embereknek felel meg (az 1. köz-őst egy pont jelzi az ágon 6 millió évvel ezelőtt). A bal oldali ág a gorillák egyetlen nemét jelzi, amely két fajt ölel föl.

KÉP: nyugati gorilla *(Gorilla gorilla)*



a herék méretére nézve, miként azt megtudjuk majd *A fóka meséjé*ből. Azt gyanítom, hogy a párzási rendszerek evolucionálisan ingatagok, vagyis könnyen változnak. Nem látok egyértelmű lehetőséget arra, hogy kitaláljuk, mi volt a helyzet a 2. köz-őssel ebben a tekintetben. Valójában az a tény, hogy a különféle mai emberi kultúrák sokféle párzási rendszert mutatnak, a hűséges monogámiától a potenciálisan igen nagy háremig, megerősíti habozásomat, hogy a 2. köz-őssel kapcsolatban efféle ügyekről elmélkedjem, és arról győz meg, hogy az ilyen jellegű spekulációimnak gyorsan véget vessek.

Az emberszabásúak, és talán különösképp a gorillák, régóta hathatós ösztönzői – és áldozatai – voltak az emberi mítoszoknak. *A gorilla meséje* legközelebbi unokatestvéreinkhez való változó hozzáállásunkról szól.

A GORILLA MESÉJE

A darwinizmus tizenkilencedik századi megjelenése megosztotta viszonyulásunkat az emberszabásúakhoz. Az ellenzők, akik magát az evolúciót még netán megemésztették, zsigeri rémülettel riadtak vissza az olyanokkal való rokonságtól, amelyeket alacsonyrendű és visszataszító vadállatoknak láttak, és elkeseredetten igyekeztek felnagyítani tőlük való különbözőségeinket. Ez sehol nem volt annyira igaz, mint a gorillák esetében. Az emberszabásúak „állatok" voltak; mi mások. Mi több, ahol más állatokat, mondjuk a macskákat vagy a szarvasokat a maguk módján szépnek lehetett látni, a gorillák és más emberszabásúak – éppen azért, mert hasonlítanak hozzánk – karikatúrának, torzképeknek és groteszknek tűntek.

Darwin soha nem szalasztotta el az alkalmat a másik tábor csipkedésére, olykor apró kiszólásokban, mint például *Az ember származása* bájos megjegyzésében, hogy a majmok „élvezettel dohányoznak". T. H. Huxley, Darwin félelmetes szövetségese egyszer heves szóváltásba keveredett Sir Richard Owennel, a kor neves anatómusával, aki azt állította (tévesen,



Zűrzavar az emberszabásúak, a majmok és az ember körül
E. Hoppius metszete Linné *Amoenitates Academicae, VI. Anthropomorpha* („Emberi formák") 1763-ban megjelent kötetében. A figurák neve a következő: Troglodytes, Lucifer, Szatír és „Pigmeus".

miként Huxley kimutatta), hogy a „hippocampus minor" kizárólag az emberi agy sajátossága. Manapság a tudósok nem csupán úgy vélik, hogy *hasonlítunk* az emberszabásúakra, hanem úgy, hogy az emberszabásúak *közé* tartozunk, mégpedig az afrikai emberszabásúak közé. Ezzel szemben hangsúlyozzuk az emberszabásúak, köztük az emberek különbözőségét a majmoktól. Egy gorillát vagy egy csimpánzt majomnak nevezni neveletlenség.

Ez nem mindig volt így. Korábban az emberszabásúakat gyakran összecsapták a majmokkal, és némely korai leírás összekeverte az emberszabásúakat a páviánokkal vagy a berbermajmokkal, amelyeket még ma is „berber emberszabásúnak" neveznek. Még meglepőbb, hogy jóval az evolúciós fogalmakban való gondolkodás előtt, vagy azt megelőzően, hogy az emberszabásúakat és a majmokat világosan elkülönítették volna, a nagy emberszabásúakat gyakran keverték össze az emberekkel. Örvendetes volna ezt az evolúció előre megsejtésének tulajdonítani, de sajnos többet köszönhet a rasszizmusnak. Afrika korai fehér feltárói a csimpánzokban és a gorillákban csak a fekete bőrű emberek, s nem a maguk közeli rokonait látták. Érdekes módon mind Délkelet-Ázsia, mind Afrika törzseinek vannak olyan hagyományos legendái, amelyek éppen fordított evolúcióra utalnak: ők a helyi nagy emberszabásúakat a kegyelemből kihullott embereknek tekintik. Az orangután maláj nyelven 'erdei embert' jelent.

A holland Bontius doktor 1658-as „orangután" ábrázolása – T. H. Huxley szavaival – „nem más, mint egy roppant szőrös nő, elég megnyerő beállításban, teljesen emberi testalkattal és lábakkal". Bizony szőrös, furcsa mód azon ritka helyek egyikének kivételével, ahol egy valódi nő az: ágyéktája feltűnően csupasz. Ugyancsak nagyon emberiek azok a képek, amelyeket egy évszázaddal később Linné tanítványa, Hoppius (1763) készített. Az egyik lénynek farka van, különben teljesen emberi, két lábon jár, és sétabotot tart. Idősebb Plinius azt mondja, hogy „a farokkal rendelkező fajok még dámázni is tudnak".

Az ember azt gondolhatta volna, hogy az effajta mitológia felkészítette civilizációnkat az evolúció eszméjére, amikorra az a tizenkilencedik században beköszöntött, sőt esetleg fel is gyorsíthatta felfedezését. Azonban mégsem így volt. Ehelyett a kép emberszabásúak, majmok és emberek között teljes zűrzavart mutat. Emiatt nehéz megállapítani a nagy emberszabású fajok tudományos felfedezésének időpontját, és gyakran az is bizonytalan, melyik fajt fedezték fel. Kivételt képez a gorilla, amelyet a legkésőbb ismert meg a tudomány.

1847-ben egy amerikai misszionárius, dr. Thomas Savage egy másik misszionárius Gabon folyó menti házában látott „egy koponyát, amelyről a bennszülöttek azt mondták, hogy egy majomszerű állaté, amelynek mérete, vadsága és viselkedése figyelemre méltó". A vadság jogtalan hírnevét, amelyet később a King Kong-történet nagyított föl, az *Illustrated London News*nak a gorilláról megjelent cikke harangozta be zengzetesen és ellentmondást nem tűrően, ugyanabban az évben, amikor *A fajok eredete* megjelent. Ez a cikk tele van olyan mennyiségre és méretekre vonatkozó ferdítésekkel, amelyek a korabeli utazók meséinek magasra helyezett mércéjét is próbára tennék.

....a közelebbi megfigyelés csaknem lehetetlen, különösen azért, mert amint megpillantja az embert, már rá is ront. A felnőtt hím ereje iszonyatos, a fogai kemények és erősek. Mondják, az erdő fáinak sűrű bozótjából figyeli az emberi lények közeledését, és amint elhaladnak a fa alatt, lenyújtja hatalmas hüvelykujjal ellátott rettentő hátsó lábát, megragadja az áldozat torkát, felemeli a földről, hogy végül holtan dobja oda vissza. Hamisítatlan rosszindulat készteti az állatot erre az eljárásra, hiszen nem fogyasztja el a halott ember húsát, csupán pokoli kielégülését leli az ölés puszta aktusában.

Savage úgy vélte, a misszionárius birtokában lévő koponya „egy új orangutánfajhoz" tartozik. Később úgy foglalt állást, hogy az új faj nem más, mint a korábbi afrikai utazók meséinek „Pongója". Hivatalos elnevezésekor Savage anatómus kollégájával Wyman professzorral együtt mellőzte a Pongót, és felélesztette a *Gorillá*t, amit egy ókori karthágói admirális adott annak a vad, szőrös emberfajtának, amelyet állítása szerint egy, az afrikai partoktól távolabbra eső szigeten talált. A gorilla név ráragadt Savage állatára, annak mind latin, mind köznevéként, míg a *Pongo* ma az ázsiai orangután latin neve.

A helyszínből ítélve Savage faja bizonyára a nyugati gorillához, a *Gorilla gorillá*hoz tartozott. Savage és Wyman ugyanabba a nembe helyezte, mint a csimpánzokat, így *Troglodytes gorillá*nak hívták. A zoológiai elnevezéstan szerint a *Troglodytes*ről le kellett mondania mind a csimpánznak, mind a gorillának, mert már korábban felhasználták az apró ökörszemre. Mégis fennmaradt a közönséges csimpánz rendszertani nevére, *Pan troglodytes*ként, míg Savage gorillájának korábbi rendszertani nevéből faragták a *Gorilla* fajtanevet. A „hegyi gorillát" a német Robert von Beringe csak 1902-ben „fedezte föl" – lőtte le. Ma ezt a keleti gorilla egyik alfajának tartják, s az egész keleti faj – talán méltatlanul – az ő nevét viseli: *Gorilla beringei*. Savage nem hitte, hogy a gorillája valóban a karthágói tengerész beszámolójában szereplő szigetlakó fajta volt. Ám az eredetileg Homérosz és Hérodotosz által említett „pigmeusok", apró emberek legendás fajtáját később, a tizenhetedik és tizennyolcadik századi felfedezők nem másokkal, mint az Afrikában éppen akkoriban felfedezett csimpánzokkal azonosították. Tyson rajzot közöl (1699) egy „pigmeusról", amely – ahogy Huxley mondja – nyilvánvalóan egy fiatal csimpánz, bár ezt is felegyenesedett tartásban, sétabotot tartva ábrázolták. Ma a *pigmeus* szót természetesen ismét a kis termetű emberekre alkalmazzuk.

Ez visszavezet bennünket a rasszizmushoz, amely a huszadik század viszonylag kései időpontjáig kultúránk népbetegsége volt. A korai felfedezők gyakran úgy vélték, hogy az erdő természeti népei közelebb állnak a csimpánzokhoz, a gorillákhoz és az orangutánokhoz, mint magukhoz a felfedezőkhöz. A tizenkilencedik században, Darwin után, az evolucionisták gyakran tekintettek úgy az afrikai népekre, mint köztes lényekre az emberszabásúak és az európaiak között, a fehér uralom felfelé ívelő útján. Ez nem csupán tényszerűen hibás, hanem megsérti az evolúció alapszabályát is. Két unokatestvér mindig pontosan ugyanolyan rokonsági fokban van egy külső csoporttal, mert ugyanazon a közös ősön keresztül kapcsolódnak az illető külső csoporthoz. *A bonobó meséjé*ben kifejtett indokok alapján valamennyi ember pontosan ugyanolyan közeli unokatestvére valamennyi gorillának. A rasszizmust vagy a fajizmust – valamint afölötti örökös zavarunkat, hogy mennyire kizárólagosan kívánjuk kivetni morális és etikai hálónkat – kiélezett és olykor kényelmetlen fókuszba állítja embertársainkhoz, valamint az emberszabásúakhoz – emberszabású *társain*khoz – viszonyulásunk története.*

* A Nagy Emberszabású projekt, amelyet a neves erkölcsfilozófus, Peter Singer álmodott meg, a kérdés lényegébe vág azzal a javaslattal, hogy a nagy emberszabásúaknak, amennyire gyakorlatilag megoldható, ugyanazt a morális státust kellene biztosítani, mint az embereknek. Az én hozzájárulásom a *The Great Ape Project* (A Nagy Emberszabású projekt) című könyvhöz külön esszéként is megjelent az *A Devil's Chaplain*ben (Az Ördög káplánja).

3. TALÁLKOZÁS ■ ORANGUTÁNOK

3

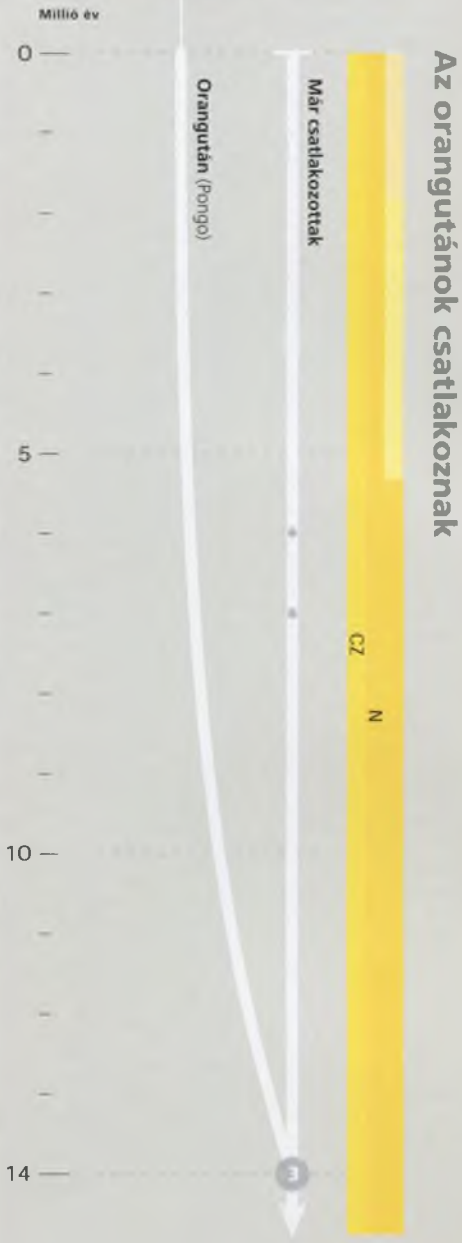
A molekuláris bizonyítékok a 3. találkozást – ahol őskereső zarándoklatunkhoz az orangutánok csatlakoznak – 14 millió évvel ezelőttre, pontosan a miocén kor közepére helyezik. Bár a világ már csaknem belépett a jelenlegi hűvös időszakba, az éghajlat melegebb, a tengerszint pedig magasabb volt a mainál. Mindez a kontinensek helyzetének kisebb arányú eltéréseivel párosulva az Ázsia és Afrika közti szárazföld, valamint Délkelet-Európa nagy részének időnkénti tenger alá kerülésével járt. Ez, miként látni fogjuk, nem marad hatástalan azt illető latolgatásunkra, hol is élhetett a 3. köz-ős, aki talán kétharmad milliomodik nagyszülőnk volt. Afrikában vajon, mint az 1. és a 2. köz-ős, vagy Ázsiában? Minthogy nekünk és egy ázsiai emberszabásúnak is közös őse volt, nem árt, ha felkészülünk rá, hogy a kettő közül bármelyik kontinensen ráakadhatunk, s nem is nehéz bármely nézethez párthíveket toborozmunk. Ázsia javára szól a meggyőző kövületek sokasága, pontosan a megfelelő, vagyis a középsőtől a késeiig terjedő miocén korból. Másfelől viszont Afrika tűnik annak a helynek, ahonnét a miocén kezdete előtt az emberszabásúak eredtek. Az alsó miocénben a proconsulfélék (a korai emberszabású nem, a *Proconsul* különféle fajai) és egyebek, így az *Afropithecus* és a *Kenyapithecus* formájában javában virágzott az emberszabású élet Afrikában. Ma élő legközelebbi rokonaink és valamennyi miocén előtti fosszíliánk afrikai.

A csimpánzokhoz és a gorillákhoz fűződő különleges rokonságunk azonban mindössze néhány évtizede ismeretes. Azelőtt a legtöbb antropológus úgy vélte, hogy valamennyi emberszabásúnak testvércsoportja vagyunk, azaz egyformán közel állunk az afrikai és ázsiai emberszabásúakhoz. A közmegegyezés Ázsiát részesítette előnyben késő miocén kori őseink otthonaként, és némely szaktekintély még egy bizonyos fosszilis „őst" is kiszemelt, a *Ramapithecus* személyében. Ezt az állatot ma a korábban már *Sivapithecus*nak nevezett állattal azonosítják, amely név a zoológiai nevezéktan törvényei szerint elsőbbséget élvez. A *Ramapithecus*t nem szabad többé használni – kár, mert a névvel már megbarátkoztunk. Bármiként érezzünk is a *Sivapithecus/Ramapithecuss* emberelőddel kapcsolatban, sok szaktekintély egyetért abban, hogy közel áll ahhoz az ághoz, amely az orangutánhoz vezetett, sőt talán az orangután közvetlen őse volt. A *Gigantopithecus* a *Sivapithecus* egyfajta óriás, földön élő változatának tekinthető. Több más ázsiai kövület is felbukkan pontosan a megfelelő időben. Az *Ouranopithecus* és a *Dryopithecus* mintha úgyszólván egymás nyomában tapodna a leginkább valószínűsíthető miocén kori emberi ős címért. Az ember kísértést érez a megjegyzésre: bárcsak a megfelelő kontinensen lennének! Mint meglátjuk, ez a „bárcsak" éppenséggel igaznak bizonyulhat.

Az orangutánok csatlakoznak
Az ázsiai orangutánok két fajáról általánosan elfogadott, hogy mintegy 14 millió évvel ezelőtt váltak külön a többi nagy emberszabásútól. Akárcsak a többi találkozás-törzsfán, a jobb oldali ág képviseli a zarándoklathoz már csatlakozott fajokat, amelyen az előző közösöket pontok jelzik.

KÉP: borneói orangután *(Pongo pygmaeus)*





Bárcsak a felső miocén kori emberszabásúak Afrikában lennének Ázsia helyett, akkor meggyőző kövületek megszakítatlan sorozata vezetné a mai afrikai emberszabásúakat vissza az alsó miocénbe és Afrika gazdag proconsulida emberszabású faunájához. Amikor a molekuláris bizonyítékok az afrikai csimpánzokkal és gorillákkal való kétségtelen rokonságunkat állapították meg az ázsiai orangután helyett, az emberősök keresői vonakodva fordítottak hátat Ázsiának. A meggyőző ázsiai emberszabásúak ellenére feltételezték, hogy őseink vonala az egész miocénen keresztül Afrikában húzódott, s arra lyukadtak ki, hogy az afrikai ősök a proconsulida emberszabásúnak a kora miocénbeli virágzása után valami oknál fogva nem fosszilizálódtak.

Itt tartott az ügy 1998-ig, amikor az asszociatív gondolkodás mesterműveként Caro-Beth Stewart és Todd R. Disotell tollából megjelent a „Primate evolution – in and out of Africa" („Főemlős-evolúció – Afrikába és Afrikából") című dolgozat. Ezt a mesét az Afrika és Ázsia közti oda-vissza forgalomról az orangután mondja el, s végkicsengése az lesz, hogy a 3. köz-ős talán mégiscsak Ázsiában élt.

De ne foglalkozzunk most azzal, hol élt a 3. köz-ős. Nézzük meg inkább, hogy nézett ki! Mivel az orangután és valamennyi mai afrikai emberszabású közös őséről van szó, vagy valamelyikükre, vagy mindkettőjükre hasonlíthatott. Vajon melyik kövület lehet a segítségünkre? Nos, a családfára pillantva megállapíthatjuk, hogy a *Lufengpithecus*, az *Oreopithecus*, a *Sivapithecus*, a *Dryopithecus* és az *Ouranpithecus* is körülbelül épp a megfelelő időben vagy kissé később élt. 3. köz-ősünk legjobban sikerült rekonstrukciója mind az öt ázsiai fosszilis nem elemeit ötvözné – amelyben nagy segítséget jelentene, ha elfogadhatnánk Ázsiát a köz-ős helyszíneként. Hallgassuk meg *Az orangután meséjét*, és meglátjuk, mire is lyukadunk ki.

Az orangután meséje

Talán túlontúl is készségesen elfogadtuk, hogy afrikai kapcsolataink nagyon messzire nyúlnak vissza. Mi van akkor, ha leszármazási vonalunk úgy 20 millió éve átugrott



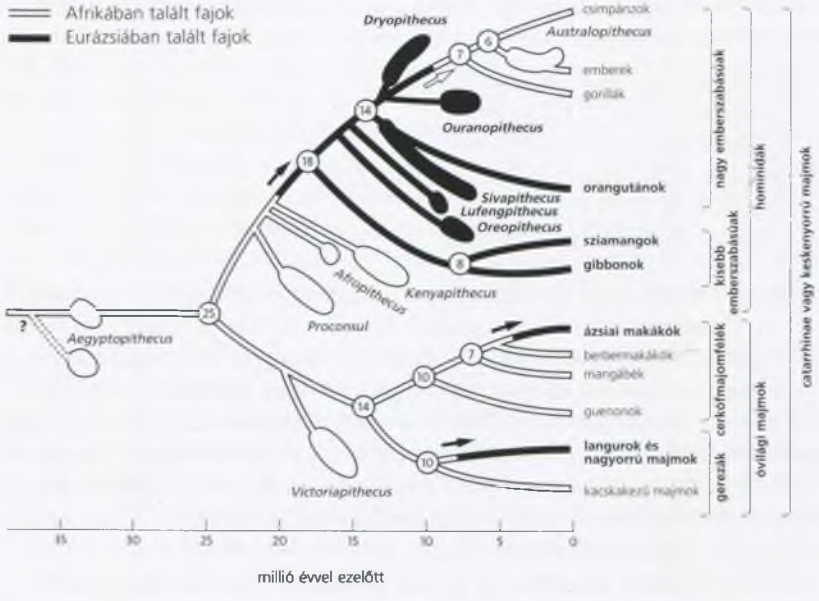
Afrikából, és Ázsiában virágzott körülbelül 10 millió évvel ezelőttig, majd visszaugrott Afrikába?

E nézet szerint valamennyi fennmaradt emberszabású, beleértve azokat is, amelyek Afrikában kötöttek ki, olyan ágból származnak, amelyek Afrikából Ázsiába vándoroltak ki. A gibbonok és az orangutánok ezeknek az Ázsiában maradt vándoroknak a leszármazottai. A vándorok későbbi leszármazottai visszatértek Afrikába, ahol a korábbi miocén emberszabásúak kihaltak. Ősi afrikai otthonukba visszatérve ezektől a vándoroktól származtak később a gorillák, a csimpánzok, a bonobók – és mi.

A kontinensek vándorlására és a tengerszint emelkedésére vonatkozó ismert tények összeillenek. Pontosan a megfelelő időben létezett szárazföldi híd Arábián keresztül. Az elméletnek kedvező pozitív bizonyíték a „takarékosságon", vagyis a feltevésekkel való gazdaságosságon áll vagy bukik. Az a jó elmélet, amelynek kevés feltevésre van szüksége ahhoz, hogy sok mindent megmagyarázzon. (Ilyen követelmény alapján, miként azt másutt már gyakran megjegyeztem, Darwin természetes szelekciós elmélete talán minden idők legjobb elmélete.) Most a vándorlási elmélettel kapcsolatos feltevéseink csökkentéséről van szó. Az az elmélet, miszerint őseink mindvégig Afrikában maradtak (vagyis nem volt vándorlás), ránézésre feltevésekben takarékosabbnak tűnt, mint az, hogy őseink Afrikából Ázsiába vándoroltak (első vándorlás), majd visszatértek Afrikába (második vándorlás).

SZEMKÖZTI OLDAL
3. KÖZ-ŐS
Ez a nagy testű, négy lábon járó emberszabású, amely ideje java részét a fákon töltötte, hosszú karjaival kapaszkodott az ágakba. Étrendje főként gyümölcsökből állt. Valamennyi nagy emberszabásúhoz hasonlóan figyelemre méltó intelligenciával rendelkezhetett. Feltehetőleg egy ázsiai esőerdőben fejlődött ki, ahol a kép is mutatja.

AFRIKÁBA ÉS AFRIKÁBÓL
Az afrikai és ázsiai emberszabásúak családfája Stewart és Disotell szerint. A duzzadt területek a fosszíliákból ismert időpontoknak felelnek meg, míg az ezeket a fához fűző vonalakat a takarékossági elemzéssel következtették ki. Stewart és Disotell [273] alapján.



Ám ez a takarékossági számítás túl szűk körű volt, hiszen a mi saját águnkra összpontosított és elhanyagolta a többi emberszabásút, különösen a nagyszámú foszszilis fajt. Stewart és Disotell újra számba vette e vándorlási alkalmakat, de azokat is beszámolták, amelyek szükségesek volnának valamennyi emberszabású elterjedésének megmagyarázásához, beleértve a kövületeket is. Ennek érdekében először egy olyan családfát kell szerkeszteni, amelyen az elegendő információval rendelkező fajokat tüntetjük fel. A következő lépésben a családfán feltüntetett minden fajnál bejelöljük, hogy Afrikában vagy Ázsiában élt-e. A Stewart és Disotell dolgozatából átvett diagramon az ázsiai kövületeket fekete, míg az afrikaiakat fehér vonal jelzi. Nem az összes ismert kövület szerepel rajta, de Stewart és Disotell felvette azokat, amelyek helyzetét a családfán világosan ki lehetett dolgozni. Az óvilági majmokat szintén berajzolták, amelyek mintegy 25 millió éve különültek el az emberszabásúaktól (a legszembetűnőbb különbség a majmok és az emberszabásúak között az – mint majd látni fogjuk –, hogy a majmoknak megmaradt a farkuk). A vándorlásokat nyilak jelzik.

A kövületeket figyelembe véve az „ugrás Ázsiába, majd újra vissza" elmélet ma takarékosabb, mint az „őseink mindvégig Afrikában maradtak" elgondolás. A majmoktól eltekintve, amelyeknél mindkét elmélet szerint két kivándorlásra került sor Afrikából Ázsiába, az emberszabásúaknál elegendő egy oda-vissza történő migrációt feltételezni a következők szerint:

1. Egy emberszabású populáció mintegy 20 millió éve Afrikából Ázsiába vándorolt, és ott valamennyien ázsiai emberszabásúakká váltak, beleértve a gibbonokat és az orangutánokat is.
2. Egy emberszabású populáció visszavándorolt Afrikába, és belőlük alakultak ki a mai emberszabásúak, beleértve bennünket is.

Másfelől, az „őseink mindvégig Afrikában maradtak" elmélet hat vándorlást követel meg, hogy számot adhasson az emberszabásúak elterjedésével. Mindegyik Afrikából Ázsiába irányult, s a következők őseire terjedt ki:

1. Gibbonok, kb. 18 millió éve
2. *Oreopithecus*, kb. 16 millió éve
3. *Lufengpithecus*, kb. 15 millió éve
4. *Sivapithecus* és orangután, kb. 14 millió éve
5. *Dryopithecus*, kb. 13 millió éve
6. *Ouranopithecus*, kb. 12 millió éve

Természetesen mindezek a migrációs számok csak abban az esetben érvényesek, ha Stewart és Disotell anatómiai összevetésre épülő családfája helytálló. Úgy vélték például, hogy a fosszilis emberszabásúak közül az *Ouranopithecus* az afrikai emberszabásúak legközelebbi unokatestvére (a diagramon ez az ág válik le utoljára a családfáról az afrikai emberszabásúak előtt). Anatómiai értékelésük alapján a következő legközelebbi unokatestvérek az ázsiaiak valamennyien (*Dryopithecus, Sivapithecus* stb.). Ha tévedtek az anatómia vonatkozásában – ha például az afrikai fosszília, a *Kenyapithecus* ténylegesen közelebb áll a mai afrikai emberszabásúakhoz, akkor a migrációk számolását újra kellene kezdeni.

Magát a családfát a takarékosság alapján vázolták föl. Itt azonban másféle takarékosságról van szó. Ahelyett hogy a szükségesként feltételezett földrajzi vándor-

lások számát csökkentenénk, hagyjuk a földrajzot, és megpróbáljuk csökkenteni a szükségesként feltételezett anatómiai egybeesések számát (összetartó vagy konvergens evolúció). Miután megkaptuk a földrajz kihagyásával készített családfánkat, akkor visszük rá a földrajzi információkat (a diagram fekete-fehér jelzéseit), hogy megszámoljuk a vándorlásokat. Ekkor lyukadunk ki oda, hogy a „legújabb" afrikai emberszabásúak, vagyis a gorillák, a csimpánzok és az emberek Ázsiából érkeztek.

No mármost, van itt egy érdekes aprócska tény. Az emberi evolúció egyik vezető tankönyve Richard G. Kleinnek, a Stanford Egyetem tanárának tollából ismerteti, mit is tudunk a legfontosabb kövületek anatómiájáról. Egy bizonyos ponton Klein összeveti az ázsiai *Ouranopithecus*t és az afrikai *Kenyapithecus*t, majd felteszi a kérdést, vajon melyik hasonlít leginkább a mi saját közeli unokatestvérünkhöz, az *Australopithecus*hoz. Klein arra a következtetésre jut, hogy az *Australopithecus* jobban hasonlít az *Ouranopithecus*hoz, mint a *Kenyapithecus*hoz. Továbbmenve azt állítja, hogy ha az *Ouranopithecus* Afrikában élt volna, nagyon is meggyőző emberi ősnek számíthatna. „Az összegzett földrajzi és morfológiai érvek alapján" azonban mégis a *Kenyapithecus* az esélyesebb pályázó. Értjük, miről van itt szó? Klein hallgatólagosan feltételezi, hogy az afrikai emberszabásúak nem valószínű, hogy ázsiai őstől származtak, még akkor sem, ha az anatómiai bizonyítékok erre utalnak. A földrajzi takarékosságnak tudat alatt fölényt biztosít az anatómiai takarékosság rovására. Az anatómiai takarékosság arra utal, hogy az *Ouranopithecus* közelebbi unokatestvérünk, mint a *Kenyapithecus*. Ám anélkül, hogy kimondaná, feltételezi, hogy a földrajzi takarékosság diadalmaskodik az anatómiai takarékosság fölött. Stewart és Disotell amellett érvelnek, hogy ha *valamennyi* fosszília földrajzát figyelembe vesszük, akkor az anatómiai és a földrajzi takarékosság *megegyeznek* egymással. Kiderül, hogy a földrajz megegyezik Klein eredeti anatómiai ítéletével, hogy az *Ouranopithecus* közelebb áll az *Australopithecus*hoz, mint a *Kenyapithecus*.

Ezt a vitát ma még nem lehet eldönteni. Bonyolult mutatvány a bűvészkedés a földrajzi és anatómiai takarékossággal. Stewart és Disotell tanulmánya óriási levelezést váltott ki a tudományos folyóiratokban pró és kontra. A rendelkezésre álló bizonyítékok jelenlegi állása szerint úgy vélem, mindent összevéve, a főemlősevolúció „ugrás Ázsiában majd vissza" elméletét kell előnyben részesítenünk. A két vándorlás takarékosabb, mint a hat. Emellett, valóban úgy tűnik, van néhány árulkodó hasonlóság az ázsiai késő miocén kori emberszabásúak és saját afrikai vonalukba tartozó olyan emberszabásúak között, mint az *Australopithecus* és a csimpánzok. Mindez a „mindent összevéve" szempont előnyben részesítéséből következik, mindenesetre ez vezetett arra, hogy a 3. (és a 4.) találkozást is Ázsiába helyezzem Afrika helyett.

Az orangután meséje kettős tanulságot hordoz. Amikor elméletek közül választ, a tudós elméjét mindig a takarékosság szelleme hatja át, ám nem mindig nyilvánvaló, hogyan ítélje meg a takarékosságot. Másfelől az evolúciós elméletben való hatékony továbblépés gyakran nélkülözhetetlen előfeltétele, hogy rendelkezzünk egy jó családfával. Ám egy jó családfa felépítése önmagában is emberpróbáló feladat. Ennek csínját-bínját a gibbonok mondják el meséjükben, zengzetes kórusban, miután a 4. találkozáson csatlakoznak zarándoklatunkhoz.

4. TALÁLKOZÁS ■ GIBBONOK

4

A 4. találkozásra, ahol a gibbonok csapódnak hozzánk, körülbelül 18 millió évvel ezelőtt, talán Ázsiában kerül sor, az alsó miocén melegebb, erdősebb világában. Attól függően, melyik szaktekintéllyel beszélünk, a mai gibbonfajok száma akár 12-re is felmehet. Mindegyik Délkelet-Ázsiában él, beleértve Indonéziát és Borneót is. Némelyik szaktekintély mindüket a *Hylobates* nembe sorolja. A sziamangokat általában elkülönítik tőlük, és így „gibbonokról és sziamangokról" beszélnek. Felismervén azonban, hogy nem két, hanem négy csoportra oszlanak, ez a megkülönböztetés idejétmúlttá vált, így most valamennyit gibbonnak nevezem.*

* A sziamangokat azért különítették el, mert nagyobbak, és kiáltásaikat felerősítő torokzsákkal rendelkeznek.

A gibbonok kis termetű emberszabásúak, és talán a valaha élt legnagyszerűbb fán élő akrobaták. A miocénban rengeteg kis termetű emberszabású élt. A kisebbedés és a nagyobbodás könnyen előadódó változásoknak számítanak az evolúcióban. Ahogy a *Gigantopithecus* és a *Gorilla* egymástól függetlenül váltak nagyokká, éppúgy a miocén emberszabású-aranykorában rengeteg emberszabású ment össze. A pliopithecidák például az alsó miocénben élték virágkorukat Európában, és feltehetően a gibbonokhoz hasonló módon éltek anélkül, hogy az őseik lennének. Feltételezem, hogy függeszkedve haladtak, vagyis brachiáltak.

A *brachia* latinul 'kart' jelent. A brachiálás annyit tesz, hogy valaki nem a lábait, hanem a karjait használja helyváltoztatásra – azaz függeszkedve halad –, márpedig ebben a gibbonok különösen jók. Nagy, markos kezeik és erős csuklóik olyanok, mint valami fordított helyzetű, rugókkal tömött, hétmérföldes csizmák, amelyek parittyaként lövik a gibbonokat ágról ágra, fáról fára. A gibbonokat az inga fizikájához tökéletesen szabott, hosszú karjaik a lombkoronában képesek akár tízméternyi nyílt szakadékon is átlendíteni. Úgy képzelem, hogy a nagy sebességű függeszkedve haladás még a repülésnél is izgalmasabb, és szeretek arról álmodozni, őseink mennyire élvezhették, ami bizonyára az élet egyik nagy adománya lehetett. Sajnálatosan a jelenlegi felfogás kételkedik abban, hogy őseink valaha is átestek egy teljesen gibbonszerű állomáson, mégis indokolt a feltételezés, hogy a 4. köz-ős, vagyis körülbelül egymilliomodik ősszülőnk egy kis termetű emberszabású volt, aki legalábbis némi jártasságra tett szert a függeszkedő haladásban.

Az emberszabásúak között a gibbonok másodikak az ember után a felegyenesedett járás bonyolult művészetében. Kezüket csupán megtámasztásra használva a gibbon két lábon megy végig az ágon, míg brachiálva halad ágról ágra. Ha a 4. köz-ős is gyakorolta ezt a művészetet, és továbbadta gibbon utódainak, vajon megőrződhetett-e némi nyoma emberi leszármazottaiban is, arra várva, hogy újra felszínre bukkanjon Afrikában? Nem több ez, mint tetszetős eszmefuttatás, mindenesetre az

A GIBBONOK CSATLAKOZNAK
A gibbonok 12 faját ma általában négy csoportba sorolják. E négy csoport közti elágazások sorrendje vitatott, miként azt *A gibbon meséje* részletesen bemutatja.

KÉPEK BALRÓL JOBBRA:
hulok *(Bunopithecus hoolock)*; ungka *(Hylobates agilis)*; sziamang *(Symphalangus syndactylus)*; aranykockás gibbon *(Nomascus gabriellae)*

FORDÍTOTT HÉTMÉRFÖLDES CSIZMÁK
Egy búbos gibbon bemutatja a brachiálás – a függeszkedve haladás – művészetét.



igaz, hogy az emberszabásúak általában hajlanak arra, hogy időnként két lábon járjanak.

Arról is csak spekulálhatunk, hogy vajon a 4. köz-ős hasonló hangvirtuóz volt-e, mint gibbon utódai, és hogy ez vajon előrevetítette-e az emberi hang páratlan beszédbeli és zenei hajlékonyságát. Ezen túl a gibbonok közelebbi rokonainkkal, a nagy emberszabásúakkal ellentétben hűséges monogámok. Ez valójában ellentétes a legtöbb emberi kultúrával is, amelyekben a szokás és több esetben a vallás is bátorítja (vagy legalábbis megengedi) a poligámiát. Nem tudjuk, 4. köz-ősünk ebben a tekintetben gibbon utódaira vagy nagy emberszabású utódaira hasonlított-e.*

Hadd foglaljuk össze, mit is sejtünk a 4. köz-ősről, miközben azzal a szokásos tapogatódzó feltevéssel élünk, hogy jó néhány vonása közös összes leszármazottjában, idesorolva velünk együtt valamennyi emberszabásút is. Feltehetően jobban kötődött a fákon való élethez, mint a 3. köz-ős, és kisebb is volt nála. Ha igaz a sejtésem, és karjain lógva hintázott, akkor karjai talán nem specializálódtak annyira a függeszkedve haladásra, mint a mai gibbonoké, és nem is voltak olyan hosszúak. Arca gibbonszerű lehetett, tömpe orral. Farka nem volt. Illetve, a pontosság kedvéért, farokcsigolyái rövid belső farokká, úgynevezett farkcsonttá (coccyx) nőttek össze, akárcsak a többi emberszabású esetében.

Nem tudom, hogy mi emberszabásúak, miért veszítettük el a farkunkat. A biológusok meglepően kevéssé tárgyalták ezt a kérdést.** Az efféle talányokkal szembenéző zoológusok gyakran az összehasonlítás módszerével dolgoznak. Nézzünk körül az emlősök között, figyeljük meg, hol bukkan föl egymástól függetlenül a farkatlanság (vagy a nagyon rövid farok), és próbáljunk meg ebből kihozni valamit. Nem hiszem, hogy ezt bárki is következetesen végigvitte volna, pedig dicséretes lenne, ha valaki vállalkozna rá. Az emberszabásúakon kívül elvesztették a farkukat a vakondok, a sündisznók, a farkatlan tenrekek, a *Tenrec ecaudatus*, a tengerimalacok, a hörcsögök, a medvék, a denevérek, a koalák, a lajhárok, az agutik és mások. Szemszögünkből talán a legérdekesebbek a farkatlan vagy olyan rövid farkú majmok, amelyeknek mintha ott sem volna, akár a Man-szigeti macskáknál.*** A berbermakákó, azaz a *Macaca sylvanus* farkatlan majom, és talán éppen ezért nevezik gyakran berber emberszabásúnak. A „celebes-emberszabású", a *Macaca nigra* egy másik farkatlan majomféle. Jonathan Kingdon azt mondja, éppen olyan, és úgy is jár, mint egy miniatűr csimpánz. Madagaszkáron van néhány farkatlan maki, például az indri, s a kihalt farkatlan fajok közé olyanok tartoztak, mint a „koalamakik" *(Megaladapis)* vagy a „lajhármakik", amelyek közt gorilla nagyságúak is akadtak.

* Talán a gibbonok derék, régi vágású családi értékei és az a kegyes remény, hogy evolúciós őseink egykor maguk is osztoztak ezeken, fel kéne hogy keltse a jobboldali „morális többség" figyelmét, akiknek az evolúció tanával szembeni tudatlan és együgyű ellenkezése veszélybe sodorja az oktatás színvonalát több elmaradottabb északamerikai államban is. Természetesen az erkölcsi tanulság levonásával a „naturalista tévelygés" bűnébe esünk, de hát ezek az emberek éppen a tévelygésekben a legjobbak.

** Egyik legutóbbi kivételre éppen Jonathan Kingdon a *Lowly Origin* (Alacsony eredet) című művében akadunk, de még ő sem talál megnyugtató magyarázatra.

*** A Man-szigeti macskáknál egyetlen gén a felelős a farkatlanságukért. A homozigótaság (amikor kétszer van jelen) halálos, így nem valószínű, hogy az evolúcióban továbbterjed. Viszont gondolkodóba ejtett, vajon az első ember-

A nem használatos szervek, ha minden más változatlan, összezsugorodnak, ha másért nem, hát takarékossági okokból. Az emlősök meglepően sokféle célra használják a farkukat.* Itt azonban elsősorban a fákon élő állatok érdekelnek bennünket. A mókusok farka belekapaszkodik a levegőbe, így egy-egy „ugrás" csaknem felér a repüléssel. A fán lakóknak gyakran van hosszú farkuk, amely ellensúlyként vagy ugráskor kormányrúdként szolgál. A lórik és a pottók, akikkel majd a 8. találkozás során találkozunk, zsákmányukra cserkészve lassan kúsznak a fán, és rendkívül rövid a farkuk. Rokonaik viszont, a fülesmakik erőteljes ugrók, és hosszú, szőrös farkuk van. A fán élő lajhárok farkatlanok, akárcsak az erszényes koalák, akiket ausztráliai megfelelőiknek is tekinthetünk, és a lórikhoz hasonlóan mindketten lassan mozognak a fákon.

Borneón és Szumátrán a hosszúfarkú makákók a fákon élnek, míg közeli rokonaik, a disznófarkú makákók a földön, és rövid farkuk van. A fákon mozgékony majmok rendszerint hosszúfarkúak. Négy lábon futnak az ágakon, és farkukkal egyensúlyoznak. Miközben egyik ágról a másikra ugranak, a testük vízszintes, a farkukat pedig kormányevezőként nyújtják hátra. Akkor hát a gibbonoknak, akik éppoly mozgékonyak a fán, mint bármelyik majom, miért nincs farkuk? A válasz talán mozgásuk igencsak eltérő módjában rejlik. Mint láttuk, valamennyi emberszabású alkalmanként két lábon jár, és a gibbonok, amikor éppen nem brachiálnak, hátsó lábaikon futnak az ágakon, hosszú karjaikkal pedig támaszkodnak. Könnyű elképzelni, hogy a farok kényelmetlen a két lábon járónak. Kollégám Desmond Morris mondja, hogy a pókmajmok időnként két lábon járnak, miközben hosszú farkuk szemmel láthatóan akadályozza őket. Amikor egy gibbon egy távoli ágra lendül, ezt függőlegesen lógó helyzetből teszi, szemben a majmok vízszintes ugró testtartásával. A farok egy függőlegesen függeszkedve haladó számára, mint amilyen a gibbon, vagy feltehetően a 4. köz-ős, távolról sem egyensúlyozó, hátsó kormánylapát, hanem kifejezett kolonc.

Ennyi telik tőlem. Úgy vélem, a zoológusoknak több figyelmet kellene szentelniük annak a talánynak, hogy vajon mi, emberszabásúak, miért veszítettük el a farkunkat. Az *a posteriori* ellentételezés megtermékenyíti a fantáziát. Vajon hogyan illene a farok ruhaviselési szokásunkhoz, elsősorban a nadrághoz? A felvetés némileg eltérő értelmezést ad a szabómesterek klasszikus kérdésének: „Jobbra vagy balra hordja, uram?"

A GIBBON MESÉJE *(társszerző: Yan Wong)*

A 4. találkozás az első alkalom, amikor több mint egy-két, már korábban egyesült fajból álló zarándokcsapatot köszöntünk. Még néhány találkozás, és meggyűlhet a bajunk a rokonság levezetésével. Vagyis ezek a problémák egyre csak fokozódnak, ahogy zarándoklatunk előrehalad. Megoldásuk módjával foglalkozik *A gibbon meséje*.**

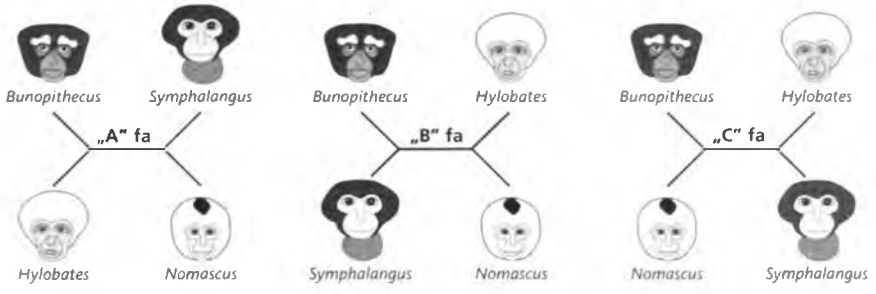
Láttuk, hogy a gibbonok 12 faja négy főbb csoportba sorolható, amelyek a következők: *Bunopithecus* (egyetlen fajból álló, a köznyelvben hulokként ismert csoport), *Hylobates* (hat fajjal, közülük a legismertebb a feketekezű gibbon, a *Hylobates lar*), *Symphalangus* (sziamang) és a *Nomascus* (a bóbitás gibbonok négy faja). Ez a mese elmondja, hogyan építsük föl e négy csoport evolúciós rokonságát.

szabásúak nem voltak-e „Man-szigeti majmok". Ha igen, akkor a mutáció vélhetően a Hox-génben történt (lásd *A gyümölcslégy meséjét*). Beállítódásomnál fogva ellenzem az evolúció „reményteli szörny" elméletét, de nem lehet ez az eset kivétel? Érdekes lenne megvizsgálni a rendesen farkas „Man-szigeti" emlősök farkatlan mutációinak csontvázait, hogy meglássuk, vajon ők ugyanúgy „üzik"-e a farkatlanságot, mint az emberszabásúak.

* A juhok zsírt tartalékolnak a farkukban. A hódok evező gyanánt használják. A pókmajmok farkán kampós kapaszkodópárna van, amit Dél-Amerika lombkoronáiban „ötödik végtagként" alkalmaznak. A kenguruk rugókkal terhelt vastag farka a szökdécselésben segít. A szarvas állatok légycsapónak használják a farkukat. A farkasok és más emlősök jeleznek vele, bár ez a természetes kiválasztódás részéről affélé másodlagos „opportunizmus" lehet.

** Témájából adódóan e mese elkerülhetetlenül fogósabb, mint a könyv többi része. Az olvasó vagy fejébe vágja a gondolkodósüveget a következő tíz oldalon, vagy most ugorjon át a 118. oldalra, és akkor térjen vissza, amikor úgy véli, idegsejtjei már formában vannak. Az a helyzet, hogy gyakran eltöprengem, mit is jelent valójában a „gondolkodósüveg". Bárcsak nekem is lenne ilyenem! Jótevőmről, Charles Simonyiról, a világ egyik legnagyobb számítógép-programozójáról mondják, hogy különleges „hibakereső öltönyt" visel – ez talán segít megérteni hatalmas sikerét.

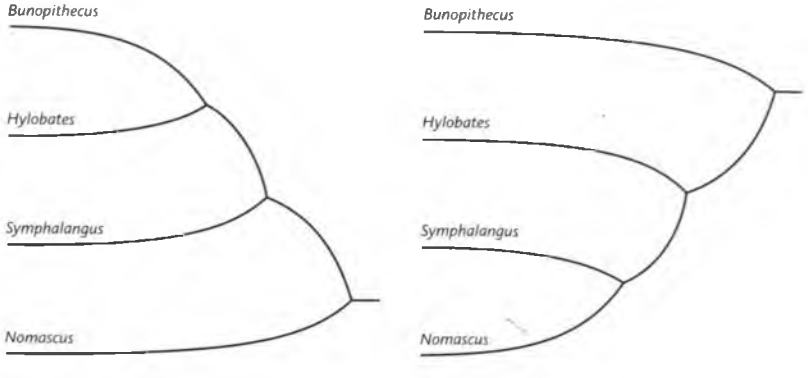
A családfák lehetnek „gyökeresek" vagy „gyökértelenek". Mikor gyökeres családfát rajzolunk, tudjuk, hol van az ős. Az e könyvben szereplő ábrák többsége gyökeres. A gyökértelen fáknak ezzel szemben nincs egyértelmű irányuk. Gyakran csillagdiagramnak nevezik őket, amelyből hiányzik az időt jelölő nyíl, nem az egyik oldalon indulnak, a másikon végződnek. Íme, három példa, amelyek kimerítik a négy elemből álló viszonylat lehetőségeit:



A fa egyes elágazásainál nem számít, melyik a jobb és melyik a bal ág. Egyelőre (bár a mese folyamán ez módosul) az ágak hossza nem hordoz információt. Azt a fadiagramot, amelynek ághosszúsága nem jelent semmit, kladogramnak nevezzük (esetünkben gyökértelen kladogram). A kladogram egyetlen információt közvetít: az elágazások sorrendjét, a többi kozmetika. Próbáljuk meg például elforgatni a középső vízszintes tengelyen az oldalsó elágazások bármelyikét. A kapcsolat mintája nem változik.

Ez a három gyökértelen kladogram képviseli négy faj összekapcsolásának egyedül lehetséges módját mindaddig, amíg olyan ágakra korlátozzuk kapcsolatainkat, amelyek csak kétfelé ágaznak (dichotómiák). Akárcsak a gyökeres fák esetében, „megoldatlanként" itt sem szokás figyelembe venni a hármas (trichotómiák) vagy még többszörös (politómiák) elágazásokat mint időleges tudatlanságunk beismerését.

Valamely gyökértelen kladogram abban a pillanatban válik gyökeressé, amint meghatározzuk a fa legrégibb pontját (a „gyökerét"). Azok a kutatók, akiknek munkáira támaszkodtunk, a mese elején lévő fánál a gibbonok gyökeres diagramjaként a bal alsó ábrát javasolják, míg más kutatók a jobb oldali gyökeres kladogramot.



Az első fán a bóbitás gibbonok, a *Nomascus*ok távoli rokonai a többi gibbonnak. A másodikon a hulok gibbon, a *Bunopithecus* részesül ilyen megkülönböztetésben. Különbségeik ellenére mindketten ugyanarról a gyökértelen fáról származnak. Az elsőt úgy nyerjük, hogy az „A" fa gyökerét a *Nomascus*hoz vezető ágnál fogva lógatjuk le, a másodikat úgy, hogy a *Bunopithecus*hoz vezető ágra helyezzük a gyökeret. De vajon hogyan „gyökereztessünk" le egy fát? A szokásos módszer az, hogy kiterjesztjük a fát legalább egy – de lehetőleg több – „kinövésre": valamely csoport olyan tagjára, amelyről korábban már elfogadták, hogy csak távoli rokona az összes többinek. A gibbon fa esetében például az orangutánok vagy a gorillák – vagy történetesen az elefántok vagy a kenguruk is – betölthetik a kinövés szerepét. Bármennyire bizonytalanok is vagyunk a gibbonok *közötti* viszonyokban, azt tudjuk, hogy valamely gibbon és valamely nagy emberszabású vagy elefánt közös őse régebbi, mint valamely gibbon és egy másik gibbon közös őse: vitán felül áll, ha a gibbonokat és a nagy emberszabásúakat tartalmazó fa gyökerét valahová a kettő közé helyezzük.

Könnyű belátni, hogy az általam felvázolt három gyökértelen fán kívül a négy csoport vonatkozásában nincs más lehetséges dichotóm fa. Öt csoportnál viszont 15 lehetséges fa van. De meg se próbáljuk meghatározni a lehetséges fák számát mondjuk 20 csoport esetében. A szám a milliók százait is meghaladja.* Mivel a fák száma meredeken emelkedik az osztályozandó csoportok számával, a művelet még a leggyorsabb számítógépnek is örökké tarthat. Elvileg azonban feladatunk egyszerű. Az összes lehetséges fa közül azt kell választanunk, amely a legjobban magyarázza a csoportjaink közti hasonlóságokat és különbözőségeket.

* A tényleges szám: $(3 \times 2–5) \times (4 \times 2–5) \times (5 \times 2–5) \times \ldots \times (n \times 2–5)$, ahol n egyenlő a csoportok számával.

De mit értünk azon, hogy „legjobban magyarázza"? Végtelenül sok hasonlóság és különbözőség jelentkezik, ha megnézünk egy csoport állatot. Számba venni ezeket azonban nehezebb, mint gondolnánk. Egyik „jellemvonás" gyakran elválaszthatatlan része egy másiknak. Ha külön számoljuk őket, valójában ugyanazt kétszer számítjuk. Szélső esetben tegyük fel, hogy van négy százlábúfajunk: A, B, C és D. A és B minden tekintetben hasonlítanak, kivéve azt, hogy A-nak piros, míg B-nek kék lábai vannak. C és D ugyancsak hasonlítanak egymásra, de igen eltérnek A-tól és B-től, eltekintve attól, hogy C-nek piros, míg D-nek kék lábai vannak. Ha a lábszínt egyetlen „tulajdonságnak" vesszük, helyesen osztjuk AB-t és CD-t külön csoportba. Ám ha naivan a 100 láb mindegyikét külön számoljuk, színük százszoros lökést ad azon jellemvonások számának, amelyek afelé mutatnak, hogy AC-t és BD-t osszuk külön csoportba. Mindenki egyetértene, hogy hamisan számoltuk ugyanazt a tulajdonságot százszor. Itt „valóban" csak egy tulajdonságról van szó, mivel egyetlen embrionális „döntés" egyidejűleg határozta meg mind a száz láb színét.

Ugyanez érvényes a bal-jobb szimmetriára: az embriológia úgy működik, hogy kevés kivételtől eltekintve egy állat egyik oldala tükörképe a másiknak. Egyetlen zoológus sem számolná valamely tükrözött tulajdonságot kétszer egy kladogram készítésekor, ám a nem-függetlenség nem mindig olyan egyértelmű. Egy galambnak a repülőizmok megtapadásához mély mellcsontra van szüksége. Egy futómadárnak, mondjuk a kivinek nincs. Akkor hát a mély mellcsontot és a repülő szárnyakat két olyan külön tulajdonságnak számítsuk, amelyben a galamb különbözik a kivitől? Netán azon az alapon egynek vegyük, hogy az egyik tulajdonság jellege meghatározza, vagy legalábbis szabad variálódásában korlátozza a másikat?

A százlábúak és a tükrözés esetében az ésszerű válasz nyilvánvaló. A mellcsont esetében nem. Értelmes emberek is érvelnek az ellenkező álláspont mellett.

Ez a helyzet a látható hasonlóságokkal és különbségekkel. Ám a látható tulajdonságok csak akkor alakulnak ki, ha DNS-szekvenciákat testesítenek meg. Ma már közvetlenül is összevethetjük a DNS-szekvenciákat. A DNS-szövegek hosszú zsinórjainak megvan az a mellékes előnyük, hogy sokkal több megszámlálható és összevethető tételt biztosítanak. A szárnyak és mellcsontok különbségeinek problémáit valószínűleg kiveti az adatáradat. Mi több, számos DNS-eltérés láthatatlan marad a természetes szelekció számára, így azok az ősiség „tisztább" jeleit biztosítják. Szélsőséges példa, hogy bizonyos DNS-kódok szinonimák, vagyis pontosan ugyanazt az aminosavat határozzák meg. Egy olyan mutáció, amely valamely DNS-szót szinonimájára változtat, láthatatlan a természetes szelekció számára. Ám egy genetikus számára egy ilyen mutáció nem kevésbé látható, mint egy másik. Ugyanez érvényes a „pszeudogénekre" (melyek általában valódi gének véletlenszerű másolatai) és sok más „DNS-szemét" szekvenciára, amelyek ugyan rajta vannak a kromoszómán, de soha nem kerülnek leolvasásra vagy felhasználásra. A természetes szelekció alóli szabadság a DNS számára az olyan mutáció szabadságát hagyja nyitva, amely rendkívül sokatmondó nyomokat rejt a taxonómusok számára. Mindez mit sem változtat azon a tényen, hogy némely mutáció nagyon is valós és fontos hatással bír. Még ha ezek a jéghegyek csúcsai is csupán, akkor is ezek azok a csúcsok, amelyek láthatók a természetes kiválasztódás számára, és így ezeknek köszönhetjük az élet minden látható és meghitt csodáját, összetettségét.

Ám a DNS is távol áll attól, hogy mentes legyen a többszörös számlálás problémájától – a szászlábúak lábainak molekuláris megfelelőjétől. Egy szekvencia néha sokszor ismétlődik a genomban. Az emberi DNS mintegy fele áll értelmetlen szekvenciák többszöri másolataiból, „felcserélhető elemekből", a DNS-másológépezetet esetleg azért eltérítő parazitákból, hogy elterjesszék magukat a genomban. Csupán egyetlen parazita elem, az *Alu*, amellyel *A bőgőmajom meséjé*ben ismét összefutunk majd, a legtöbb egyedben több mint egymillió másolatban van jelen. Még a jelentéssel bíró és hasznos DNS esetében is előfordul, hogy a gének tucatnyi azonos (vagy közel azonos) másolatban bukkannak föl. A gyakorlatban azonban a többszörös számolás nem okoz gondot, mert a DNS-szekvenciák másolatai általában könnyen azonosíthatók.

Ennél több okot ad az óvatosságra, hogy alkalmanként a DNS nagy területei mutatnak rejtélyes hasonlóságot viszonylag nem rokon lények között. Senki sem vitatja, hogy a madarak közelebbi rokonai a teknősöknek, a gyíkoknak, a kígyóknak és a krokodiloknak, mint az emlősöknek (lásd a 16. találkozást). Mégis, a madarak és az emlősök DNS-szekvenciái között nagyobb a hasonlóság, mint azt távoli rokonságuk alapján várhatnánk. Nem kódoló DNS-ükben mindkettő rendelkezik egy többlet G-C párral. A G-C pár kémiailag erősebb, mint az A-T pár: talán a meleg vérű fajok (a madarak és az emlősök) szorosabb DNS-kötést igényelnek. Bármi is az oka, óvakodnunk kell attól, hogy ezt a G-C egyezést arra használjuk, hogy meggyőzzük magunkat valamennyi meleg vérű állat közeli rokonságáról. A DNS talán Kánaánt ígér a biológiai rendszertanosoknak, de az efféle veszélyektől óvakodnunk kell: még sok mindent nem értünk a genomokkal kapcsolatban.

Ily módon túlesvén az óvatosságra intő kötelező invokáción, most már lássuk, hogyan használhatjuk föl a DNS-ben rejlő információkat! Érdekes módon a filoló-

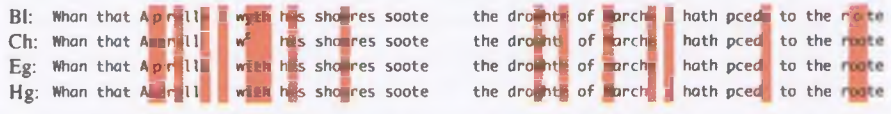
gusok a szövegek őseinek kinyomozásához ugyanazokat a módszereket használják, mint az evolúcióbiológusok. És ennek az egyik legjobb példája történetesen – csaknem túl szép ahhoz, hogy igaz legyen – éppen a *Canterbury Mesék* projekt. Ennek kapcsán egy irodalomtudósokból álló nemzetközi szindikátus tagjai az evolúcióbiológia eszközeivel nyomozzák a *Canterbury mesék* 85 különböző kéziratának a történetét. Ezek a nyomtatás beköszönte előtt lemásolt ősi kéziratok jelentik a legbiztatóbb reményt Chaucer elveszett eredetijének a rekonstruálására. Akárcsak a DNS-nél, Chaucer szövege is sorozatos másolás révén maradt fönn úgy, hogy véletlenszerű változtatások ismétlődtek az egyes példányokban. A felgyülemlett eltérések gondos kiszűrésével a tudósok fel tudják vázolni a másolás történetét: evolúciós fáját – mert ez valódi evolúciós folyamat, amely egymást követő generációk során fokozatosan felhalmozódó hibákból áll. A DNS-evolúció és az irodalmi szöveg evolúciójának technikái és nehézségei olyannyira hasonlók, hogy kölcsönösen felhasználhatók egymás illusztrálására.

Így, a gibbontól forduljunk egy kicsit Chaucer felé, elsősorban is a *Canterbury mesék* 85 kéziratváltozata közül négy: a „British Library", a „Christ Church", az „Egerton" és a „Hengwrt" változatok felé.* Íme, az *Általános bevezető* első két sora:

BRITISH LIBRARY:	What that Aprylle / wyth hys showres soote The drowthe of Marche / hath pcede to the rote
CHRIST CHURCH:	Whan that Auerell w' his shoures soote The droght of Marche hath pced to the roote
EGERTON:	Whan that Aprille with his showres soote The drowte of marche hath pced to the roote
HENGWRT:	Whan that Aueryll w' his shoures soote The droghte of March / hath pced to the roote

* A „British Library" kézirat Henry Dene-é, Canterbury 1501. évi érsekéé volt, amelyet ma az Egerton kézirattal és másokkal együtt a londoni British Libraryben őriznek. A „Christ Church" kézirat ma itt lakozik a közelemben, ahol e sorokat írom, az oxfordi Christ Church könyvtárában. A „Hengwrt" kézirat valószínűleg Fulke Dutton tulajdonában volt 1537-ben. Patkány rágta juhbőr lapjait, melyre írták, ma a walesi National Library őrzi. (Magyar fordítása: *„Ha március fagyának erejét / április langy esője veri szét..." – Vas István fordítása*, G. Chaucer: *Canterbury mesék*. Európa, 1987, 7. o.)

Az első dolog, amit mind a DNS-sel, mind az irodalmi szöveggel el kell végeznünk, hogy meghatározzuk a hasonlóságokat és a különbözőségeket. Ennek érdekében „egy vonalba kell állítanunk" őket, ami nem mindig könnyű feladat, hiszen előfordul, hogy a szöveg töredékes vagy zagyva, netán eltérő hosszúságú. Egy számítógép nagy segítség, amikor az ügy súlyosbodik, de Chaucer általános bevezetője első két sorának párhuzamba állításához nincs szükségünk rá, úgyhogy ki is emeltem azt a tizennégy pontot, ahol a szövegek ellentmondanak egymásnak.



Két helynek, a másodiknak és az ötödiknek nem kettő, hanem három variánsa van, így összesen tizenhat „különbség" adódik. Az eltérések listájának összeállítását követően nekiláthatunk annak kidolgozásához, milyen fa magyarázhatná meg ezeket legjobban. Ezt sokféleképp végezhetjük, s mindegyik módszer éppúgy alkalmazható az állatokra, mint az irodalmi szövegekre. A legegyszerűbb az, ha a szövegeket az

általános hasonlóság alapján csoportosítjuk. Ez általában az alábbi módszer valamely változatára épül. Először meghatározzuk azt a szövegpárt, amely a leginkább hasonló. Ezután egyetlen átlagos szövegként kezeljük őket, miközben a maradék szöveg mellé helyezve megkeressük a következő leghasonlóbb változatot és így tovább, egymásba illeszkedő csoportokat alkotva, amíg fel nem épül a rokonságfa. Az effajta technikákkal – melyek egyik legismertebbjét „szomszéd-csatlakoztatásnak" nevezik – gyorsan lehet számolni, de nem foglalják magukban az evolúciós folyamat logikáját. Pusztán a hasonlóság mérésére szolgálnak. Ezért aztán a taxonómia „kladista" iskolája, amely okfejtésében mélyen evolucionista (bár ez nem minden képviselőjében tudatosul) más eljárásokat részesít előnyben, amelyek közül a takarékossági módszert fejlesztették ki a legkorábban.

A takarékosság itt, miként azt *Az orangután meséjé*ben láttuk, a magyarázat takarékosságát jelenti. Az evolúcióban – mindegy, hogy az állatokéban vagy a kéziratokéban – az a legtakarékosabb magyarázat, amely a legkevesebb evolúciós változást feltételezi. Ha két szöveg valamely vonása közös, a takarékos magyarázat szerint közösen örökölték egy közös őstől, s nem egymástól függetlenül tettek szert rá. A változhatatlan szabálytól ugyan ez messze áll, mégis legalább nagyobb valószínűséggel igaz, mint az ellenkezője. A takarékossági módszer – legalábbis elvben – valamennyi lehetséges fát áttekintve azt választja, amelyben a legkevesebb a változás.

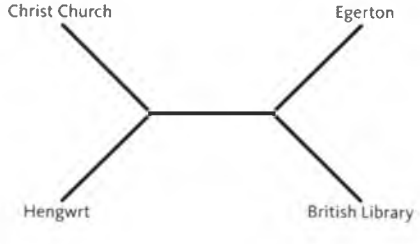
Amikor takarékosságuk alapján szemrevételezzük a fákat, bizonyos fajtájú különbségek nem nyújtanak segítséget. Az olyan eltérések, amelyek csak egy kéziratban vagy egyetlen állatfajnál fordulnak elő, *nem hordoznak információt*. A szomszéd-csatlakoztatás módszere él velük, de a takarékossági módszer teljesen mellőzi őket. A takarékosság az *informatív* változásokra épít, azaz olyanokra, amelyek több kéziratban közösek. Az ideális fa az, amelyik a közös leszármazás alapján a lehető legtöbb informatív eltérésre ad magyarázatot. Chauceri sorainkban öt informatív eltérést találunk. Ezek közül négy alapján a kéziratok a következőképp oszlanak meg:

(British Library és Egerton) szemben (Christ Church és Hengwrt)-tel.

Ezeket a különbségeket emelik ki az első, a harmadik, a hetedik és a nyolcadik piros vonalak. A tizenkettedik vörös vonallal jelölt ötödik különbség, a virgula (ferde vonás) alapján a kéziratok másként oszlanak meg:

(British Library és Hengwrt) szemben (Christ Church és Egerton)-nal.

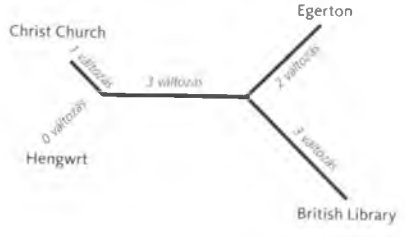
Ez a két felosztás ütközik egymással. Nem tudunk olyan fát rajzolni, amelyben minden változás csak egyszer fordul elő. Az ellentétet leginkább az alábbi megoldás enyhíti (vegyük figyelembe, hogy gyökértelen fáról van szó), mert csupán virgula létét vagy nem létét követeli meg.



Valójában ez esetben nem sok bizalmam van a sejtésünkben. Az összefutások és visszatérések gyakoriak a szövegekben, különösen ha a szöveg jelentése változatlan. Egy középkori írnoknak valószínűleg nem okozhatott nagy lelki törést a helyesírás megváltoztatása, és még kevésbé egy-egy írásjel, mint például a virgula beszúrása vagy elhagyása. A kapcsolat jobb indikátorai lehetnek az olyan változások, mint a szórend átrendezése. Ennek genetikai megfelelői a „ritka genomváltozások": a DNS-t illető nagyobb beszúrások, kihagyások vagy másolások. Ezeket a különböző fajtájú változások súlyozásával tudjuk egyértelműen figyelembe venni. A gyakran előforduló vagy megbízhatatlan változásokat kisebb súllyal vesszük figyelembe a változások számbavételénél. A rokonság ritka vagy megbízható indikátoraiként ismert változások viszont nagyobb súlyt kapnak. Egy változás nagyobb súlya azt jelenti, hogy azt legfőképp nem akarjuk kétszer számolni. A legtakarékosabb fa tehát az, amelynek az összsúlya a legalacsonyabb.

A takarékossági módszer széltében használatos az evolúciós fák keresésében. Ám ha – miként sok DNS-szekvenciában és chaucer szövegünkben – az összefutások és visszatérések gyakoriak, a takarékosság félrevezető lehet. Ez a „hosszúág-vonzásként" ismert rettegett mumus. Lássuk, mit is jelent!

A kladogramok, akár gyökeresek, akár gyökértelenek, az elágazás sorrendjét ábrázolják. A filogramok vagy filogenetikus fák (a görög *phülon*, azaz faj/törzs/osztály szóból) hasonlóak hozzájuk, de itt az ágak hossza is információértékű. Az ágak hossza általában evolúciós távolságot jelez: a hosszú ág sok változásnak, a rövid kevés változásnak felel meg. A *Canterbury mesék* első sora a következő filogramot adja:



Ezen a filogramon az ágak hosszúsága alig különböző. Ám képzeljük el, mi történnék, ha a két kézirat a másik kettőhöz képest sokat változna. Az előző kettőhöz vezető ágak igen hosszúak lennének. És a változások aránya nem lenne egyedülálló. Történetesen megegyeznének a fán megjelenő egyéb változásokkal (és most jön a lényeg), *különösen* a többi hosszú ágon levőkkel. Ez abból adódik, hogy egyébként is a hosszú ágakon van a legtöbb változás. Elegendő evolúciós változással a két hosszú ág közötti álkötelékek adják ki az igazi jelzést. A változások egyszerű összeszámolására alapozva a takarékosság tévesen sorolja egy csoportba a különösen hosszú ágak végpontjait. A takarékossági módszer hamisan „vonzza" egymáshoz a hosszú ágakat.

A hosszú ágak vonzásának problémája rengeteg fejfájást okoz a biológiai taxonómusoknak. Mindig felüti a fejét, amikor az összefutások és visszatérések gyakoriak, és sajnálatosan nem is remélhetjük, hogy több szöveg vizsgálatával elkerülhetjük. Ellenkezőleg! Minél több szöveget nézünk meg, annál több téves hasonlóságot találunk, és annál inkább meggyőződünk a téves válasz igazáról. Az mondják, az efféle fák a neves amerikai biológusról, Joe Felsensteinről elnevezett, baljóslatú hangzású „Felsenstein-

zónában" találhatók. Sajnos a DNS-adatok különösen sebezhetők a hosszúág-vonzás számára. Ennek fő oka, hogy a DNS-kód csak négy betűből áll. Ha az eltérések zöme csak egybetűs változás, ugyannak a betűnek a véletlenszerű, független mutációja rendkívül valószínű. Ez a hosszúág-vonzás valóságos aknamezejét telepíti. Ezekben az esetekben egyértelműen más módszerre van szükségünk. Ilyen például a valószínűség-számítás, amely egyre inkább kedvelt a biológiai taxonómusok körében.

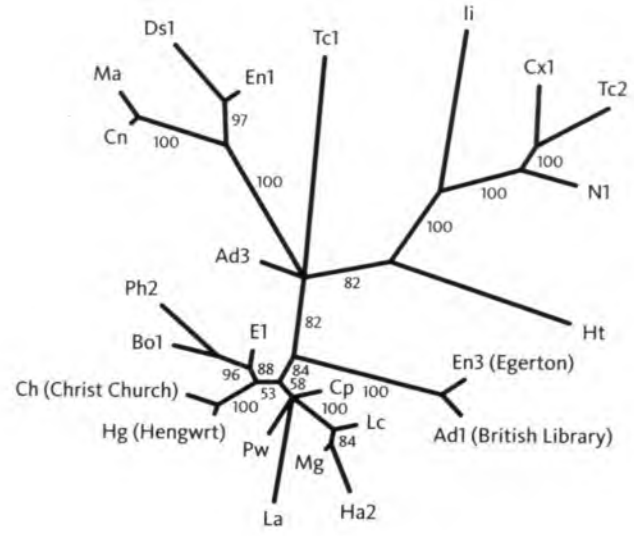
A valószínűség-számítás még több számítógépes energiát éget el, mint a takarékosság, mivel itt az ágak hosszúsága számít. Így aztán jóval több fával kell megküzdenünk, mivel az összes lehetséges elágazás számbavétele mellett most az összes lehetséges águosszúságot is meg kell vizsgálnunk – ami herkulesi feladat. Márpedig ez azt jelenti, hogy a trükkös áramkörök ellenére a mai számítógépek csak a kevés fajra kiterjedő valószínűség-számításokkal képesek csak megbirkózni.

A „valószínűség" nem valamiféle homályos fogalom. Ellenkezőleg, pontos jelentéssel bír. Egy bizonyos formájú fa esetében (ne feledjük az águosszakat is feltüntetni) a pontosan ilyen alakú filogenetikus fa létrehozását eredményező, összes lehetséges evolúciós ösvény közül csupán elenyésző számú eredményezné pontosan azokat a szövegeket, amelyeket most látunk. Valamely adott fa „valószínűsége" nem más, mint a ténylegesen meglévő szöveg megkapásának elenyészően kicsi esélye, szemben az adott fa által teremtett bármely más lehetséges szöveggel. Jóllehet az egy fára eső valószínűségi érték kicsi, mégis is össze tudjuk hasonlítani a megítélésünk eszközéül szolgáló egyik kis értéket a másikkal.

A valószínűség-számításon belül különböző alternatív módszerek léteznek, hogy megkapjuk a „legjobb" fát. A legegyszerűbb annak a megkeresése, amelynek a legnagyobb a valószínűsége: vagyis a legvalószínűbb fáé. Nem alaptalanul fut ez a módszer a „maximális valószínűség" néven, bár pusztán abból, hogy ez a legvalószínűbb fa, még nem következik, hogy más lehetséges fák csaknem éppoly valószínűek. Legutóbb felvetődött, hogy az egyetlen legvalószínűbb fában való hit helyett meg kéne vizsgálnunk az összes lehetséges fát, de arányosan több hitelt adva a valószínűbbeknek Ez a maximális valószínűség bayesianus filogenetikaként ismert alternatívája. Ha sok valószínű fa megegyezik egy bizonyos elágazási pontban, akkor arra számíthatunk, hogy nagy valószínűséggel helyes. Természetesen, akárcsak a maximális valószínűség esetében, itt sem vehetjük figyelembe az összes lehetséges fát, de léteznek számítógépes huszárvágások, amelyek elég jól működnek.

A legvégül kiválasztott fába vetett bizalmunk annak bizonyosságába vetett hitünktől függ, hogy elágazásai pontosak, és így gyakran előfordul, hogy ennek mértékét feltüntetik az egyes elágazási pontoknál. A bayesianus módszer használatakor az esélyek számítása automatikus, de más módszereknél, így a takarékosságnál vagy a maximális valószínűségnél más mértékegységekre van szükségünk. Gyakran használják az „önbetöltő" *(bootstrap)* módszert, amely egymás után, újra meg újra mintát vesz az adatok különböző részeiből, hogy megtudjuk, mennyiben tér el akkor a végső fától. Más szavakkal: menyire ellenálló a fa a tévedésnek. Minél magasabb az „önbetöltő" érték, annál megbízhatóbb az elágazáspont, bár azon még a szakemberek is vitatkoznak, hogy egy bizonyos önbetöltő érték pontosan mit is jelent. Hasonló módszer a „bicska" és a „hanyatlási mutató". Mindegyik azt méri, mennyire bízhatunk a fa egyes elágazási pontjaiban.

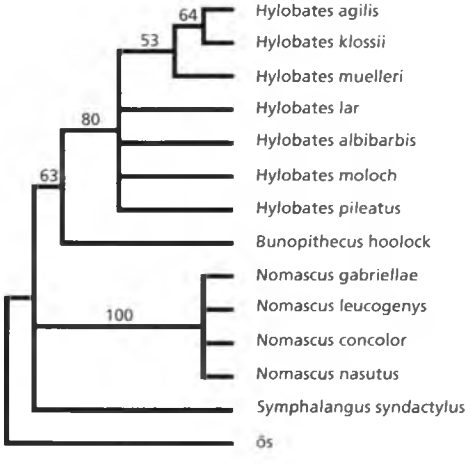
Mielőtt elhagynánk az irodalmat és visszatérnénk a biológiához, bemutatunk egy összegző diagramot 24 Chaucer-kézirat első 250 sora közötti evolúciós rokonságról. Filogramról van szó, vagyis nemcsak az elágazási minta, hanem az ágak hossza is jelentéssel bír. Azonnal leolvashatjuk, melyik kéziratok közeli változatai egymásnak, és melyek az aberrált kívülállók. A fa gyökértelen, vagyis nem kötelezi el magát amellett, hogy a 24 kézirat közül melyik áll közelebb az „eredetihez".



„Semmit nem tettem hozzá és nem is rövidítettem meg." (Caxton előszava) A *Canterbury mesék* 24 különböző kéziratváltozata első 250 sorának gyökértelen filogenetikus fája, amely a *Canterbury Mesék* projekt által tanulmányozott kéziratok egyik részegységét képviseli a projekt által használt kézirat-rövidítésekkel. A fa takarékossági elemzéssel készült, míg az elágazásoknál az önbetöltő értékeket láthatjuk. A négy tárgyalt változatot kiemeltük.

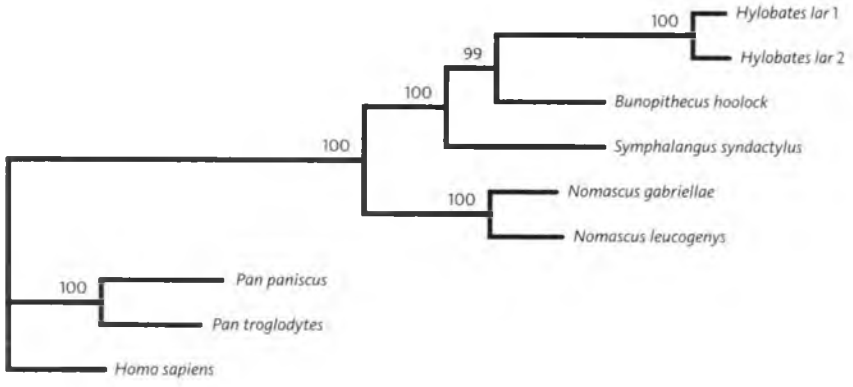
Itt az ideje, hogy visszatérjünk gibbonjainkhoz. Idők során sokan próbálták megállapítani a gibbonok közti rokonságot. A takarékosság négy gibbon csoportra utalt. Íme, a testi jegyek alapján készült gyökeres kladogram.

Láthatjuk, hogy a *Hylobates*-fajok éppúgy egy csoportba tartoznak, mint a *Nomascus*ok. Mindkét csoportnak elég magas önbetöltő értékei vannak (a vonalakra írt számok). Ám az elágazások sorrendje több helyen megoldatlan. Bár úgy tűnik, hogy a *Hylobates* és a *Bunopithecus* egy csoportot alkot, a 63-as önbetöltő érték nem meggyőző az efféle rúnák olvasásához szokott szemnek. A morfológiai vonások nem elégségesek a fa megoldásához.



A gibbonok morfológiára épülő gyökeres kladogramja. Geissmann alapján [100].

Éppen ezért Christian Roos és Thomas Geissmann Németországban a molekuláris genetikához folyamodtak, elsősorban a mitokondriális DNS „ellenőrző régiónak" nevezett részéhez. Hat gibbonból vett DNS felhasználásával megfejtették a szekvenciákat, betűről betűre sorba állí-



A gibbonok kladogramja a DNS maximális valószínűség-elemzése alapján. Roos és Geissmann [246] után.

tották őket, és elvégezték rajtuk a szomszéd-csatlakoztatás, a takarékosság és a maximális valószínűség-elemzéseket. A maximális valószínűség – amely a három közül a legjobban megbirkózik a hosszúág-vonzással – adta a legmeggyőzőbb eredményeket. A gibbonokat illető végső ítéletüket mutatjuk be az ábrán, és látható, hogy megoldották a négy csoport közti rokonság kérdését is. Az önbetöltő értékek eléggé meggyőznek arról, hogy ez a használható fa a fejezet elején említett leszármazáshoz.

A gibbonok viszonylag nemrégen ágaztak el külön fajokra. Ám minél távolabbi rokonságban álló fajokat nézünk, amelyeket egyre hosszabb ágak választanak el, úgy kezdenek csődöt mondani a maximális valószínűség és a bayesianus elemzés legkifinomultabb technikái is. Elérkezünk egy olyan ponthoz, ahol a hasonlóságok elfogadhatatlanul nagy része esik egybe. Ekkor mondjuk, hogy a DNS-különbségek telítettek. Nincs olyan csodás módszer, amely vissza tudná nyerni az ősiség jelét, mivel a rokonság minden maradványát felülírta a romboló idő. A probléma különösen súlyos a semleges DNS-különbségek esetében. Az erős természetes kiválasztódás a géneket szigorúan kordában tartja. Szélső esetekben a fontos szerepet betöltő gének évmilliókon keresztül szó szerint változatlanok maradhatnak. Ám egy semmire nem való pszeudogén esetében az ilyen hosszúságú idő bőven elég a reménytelen telítettség kialakulásához. Ilyen esetekben egyéb adatokra van szükségünk. A legígéretesebb ötlet, ha a korábban említett ritka genomváltozásokat alkalmazzuk. Mivel ezek ritkák, valójában egyediek, a véletlenszerű hasonlóság sokkal kevésbé okoz problémát. Emellett, ha egyszer rájuk bukkantunk, figyelemre méltó viszonyokat tárhatnak fel, miként majd megtudjuk, amikor gyarapodó zarándokcsapatunkhoz hozzácsapódik a víziló, hogy elképesszen bennünket rendkívül (mondhatnánk, bálnányi mértékben) meglepő meséjével.

És most egy fontos utógondolat az evolúciós fákról, amely *Éva* és *A Neander-völgyi meséi*nek tanulságaiból következik. Nevezhetnénk akár a gibbon hanyatlásának és a fajfák bukásának is. Rendszerint azt feltételezzük, hogy a fajok valamely halmazát felrajzolhatjuk egyetlen evolúciós fára. Ám *Éva meséje* arról szólt, hogy a DNS különböző részeinek (és így egy organizmus különböző részeinek is) másmás fájuk lehet. Márpedig ez, véleményem szerint, lényegükben kérdőjelezi meg a fajfák puszta eszméjét is. A fajok számos különféle forrásból származó DNS-ből tevődnek össze. Ahogy azt az *Éva meséjé*ben, majd *A Neander-völgyi meséjé*ben

láttuk, minden gén, sőt a gén minden egyes betűje saját utat jár be a történelemben. A DNS minden darabja és egy szervezet minden részlete különböző evolúciós fával rendelkezhet.

Ennek egyik példájával nap mint nap találkozunk, de az ismertség miatt nem vesszük észre az üzenetét. Ha egy marslakó taxonómusnak csak egy emberi hím és női nemi szervet meg egy gibbon hím nemi szervet mutatnánk, a két hímet habozás nélkül egymás közelebbi rokonaiként osztályozná, mint bármelyiket a nővel való rokonság terén. Valóban, a hímjelleget meghatározó gén (amelyet *SRY*-nak neveznek) soha nem volt női testben, legalábbis még jóval azelőtt sem, hogy mi és a gibbonok különváltunk. A morfológusok hagyományosan egy különleges esetet hoznak fel a nemi jellegek mentségére, hogy elkerüljék az „értelmetlen" osztályozásokat. De hasonló problémák másutt is felvetődnek. Ezt láttuk korábban az *Éva meséjé*ben említett AB0-s vércsoportokkal kapcsolatban. Az én B csoportos génem nem áll közelebbi rokonsággal egy B csoportos csimpánzzal, mint egy A csoportos emberrel. És ez nem csupán a nemi vagy a vércsoport génekkel kapcsolatban van így, hanem bizonyos körülmények között *minden*, ebben a tekintetben érzékeny génnel és tulajdonsággal kapcsolatban. Mind a molekuláris, mind a morfológiai tulajdonságok többsége arra utal, hogy a csimpánzok a legközelebbi rokonaink. Ám egy jelentékeny kisebbség azt állítja, hogy inkább a gorillák azok, vagy legalábbis a csimpánzok közelebbi rokonai a gorilláknak, és mindketten egyformán rokonai az embernek.

Ez ne lepjen meg bennünket. A különböző gének különböző útvonalakon öröklődnek. Egy populáció, amely mind a három fajnak őse, nagyon eltérő lesz – minden génnek számos különféle leszármazása lévén. Nagyon is elképzelhető, hogy egy, az emberben és a gorillában is meglévő gén egy ágról származik, míg a csimpánzban ugyanez egy távolabbi rokontól öröklődött tovább. Ehhez mindössze az szükséges, hogy egy ősileg elvált genetikai ág folytatódjék tovább az ember-csimpánz elkülönülés után, így az emberek leszármazása az egyik, míg a csimpánzoké a másik ágon folytatódhat.*

Így be kell vallanunk, hogy nem egyetlen fából áll az egész történet. *Lehet* fajfákat rajzolni, de ezeket sok-sok génfa egyszerűsített összegzéseinek kell tekintenünk. A fajfák értelmezésének két fajtáját tudom elképzelni. Az első a megszokott genealogikus értelmezés. Egy faj akkor a legközelebbi rokona egy másiknak, ha minden vizsgált faj közül ezzel van a legközelebbi közös genealógiai őse. A második módszer sejtésem szerint a jövő módszere. Egy fajfát úgy lehet elképzelni, mint amely a genom demokratikus többségi viszonyait ábrázolja. Vagyis a génfák egyfajta „többségi szavazatának" eredményét jeleníti meg.

Én ezt a demokratikus eszmét – a genetikai szavazást – részesítem előnyben. Ebben a könyvben a fajok közti valamennyi viszonyt ily módon kell értelmezni. Az általam bemutatott összes származási törzsfát ennek a genetikai demokráciának a szellemében kell szemügyre venni, az emberszabásúak közti rokonságtól az állatok, növények, gombák és baktériumok közti rokonságig.

* Minél hosszabb idő telik el a fajok elszakadása között (vagy minél kisebb a populációnagyság), annál több ősi vonal vész el genetikai sodródással. Így a rendszerető taxonómusok abban a reményben, hogy a fajfák megegyeznek a génfákkal, könnyen elbánnak azokkal az állatokkal, amelyeknek eltérései – nem úgy, mint az afrikai emberszabásúaké – jó nagy távolságra esnek egymástól az időben. Mindig akadnak azonban olyan gének, így például az *SRY*, amelyek eltérő leszármazási vonalait a természetes szelekció következetesen megőrzi hatalmas időszakokon keresztül is.

5. TALÁLKOZÁS ■ ÓVILÁGI MAJMOK

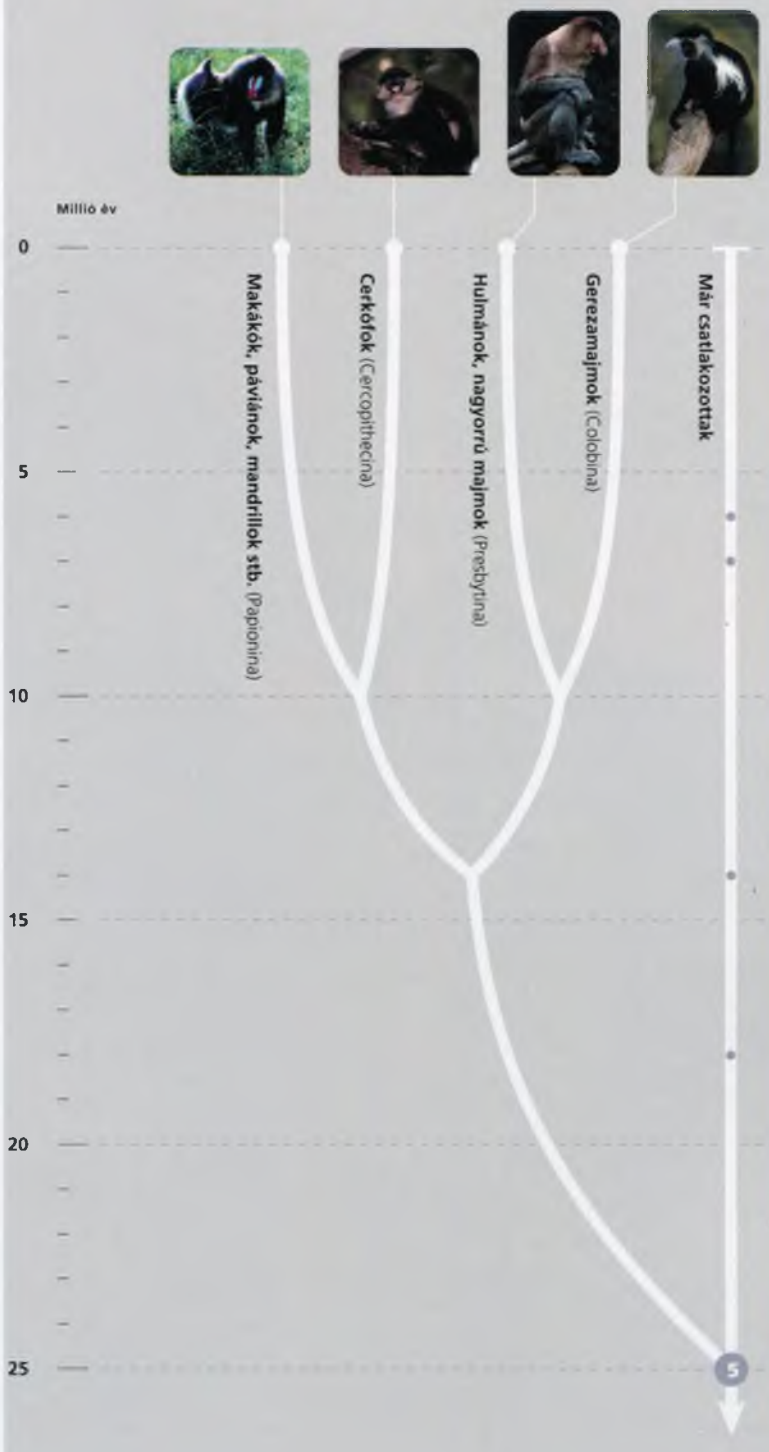
5

Ahogy ehhez a találkozáshoz közeledünk, és az 5. köz-ősünkkel való találkozásra készülünk, aki megközelítőleg 1,5 milliomodik nagyszülőnk, átkelünk egy jelentőségteljes (bár kissé önkényes) határon. Utazásunk során először hagyjuk el saját geológiai időszakunkat, a neogént, és lépünk be az előzőbe, a paleogénbe. Amikor legközelebb lépünk át efféle határt, már benyomulunk a kréta időszakba, a dinoszauruszok világába. Az 5. találkozásra mintegy 25 millió évvel ezelőtt kerül sor a paleogénben. Pontosabban az oligocén korban, amely visszautunk során az utolsó olyan megálló, amikor a világ éghajlata és növénytakarója felismerhetően hasonlított a maihoz. Még hátrébb nem találunk már többé nyílt füves pusztaságokat, amelyek annyira jellemzőek a mi neogénünkre, sem az ezekkel járó, legelészve vándorló állatok nyájait. Huszonöt millió éve Afrika teljesen elszigetelődött a világ többi részétől, a legközelebbi földdarabtól, Spanyolországtól olyan széles tenger választotta el, mint ma Madagaszkártól. Afrikának ezen az óriási szigetén zarándoklatunkat eleven, életrevaló újoncok pezsdítik föl, az óvilági majmok – az első farkot viselő zarándokok.

Ma az óvilági majmok fajainak száma éppen alatta marad a száznak, melyek közül néhányan kivándoroltak az anyakontinensükről Ázsiába (lásd *Az orangután meséjét*). Az óvilági majmok két nagy csoportra oszthatók: egyikbe tartoznak az afrikai zászlósfarkú majmok, az ázsiai hulmánokkal és nagyorrú majmokkal együtt, a másikba főként az ázsiai makákók, valamint az afrikai páviánok, cerkófok és egyebek.

Valamennyi ma élő óvilági majom legutóbbi közös őse mintegy 11 millió évvel később élt, mint az 5. köz-ős, talán úgy 14 millió évvel ezelőtt. A legnagyobb segítséget nyújtó és az időszakot megvilágító fosszilis nem a *Victoriapithecus,* amely mára már vagy ezer töredékből ismeretes, köztük egy ragyogó koponyával, amely a Viktória-tó Mabokó-szigetén került elő. Az összes óvilági majom zarándok körülbelül 14 millió évvel ezelőtt fogott kezet, hogy köszöntsék köz-ősüket, talán magát *Victoriapithecust*, vagy valami hozzá hasonlót. Aztán továbbmasíroznak visszafelé, hogy csatlakozzanak az emberszabású zarándokokhoz 5. köz-ősünknél, 25 millió évvel ezelőtt.

De hogy is nézett ki az 5. köz-ős? Talán kissé az *Aegyptopithecus*ra, erre a fosszilis nemre ütött, amely ténylegesen mintegy 5 millió évvel korábban élt. De maga az 5. köz-ős – szokásos gyakorlati szabályunk értelmében – nagyobb valószínűséggel osztozott utódaival azok közös tulajdonságaiban, mint nem: ez esetben a keskenyorrú majmokéival, akik közé az emberszabásúakat és az óvilági



Az óvilági majmok csatlakoznak
Az óvilági majmok nagyjából 100 fajának ezt a leszármazási vonalát általában elfogadják. Az ágak végén látható körök ettől kezdve a nagyságrend kedvéért az egyes csoportokba tartozó ismert fajok számát érzékeltetik: ha nincs kör, az ismert fajok száma 1–9 között van; a kisebb kör 10–99 fajt jelent; a nagyobb kör 100–999 közöttit stb. Jelen esetben mind a négy csoportba 10–99 faj tartozik.

Képek balról jobbra: mandrill *(Mandrilus sphinx)*; vörösfarkú majom *(Cercophitecus ascanius)*; nagyorrú majom *(Nasalis larvatus)*; angolai fekete-fehér gereza *(Colobus angolensis)*



majmokat sorolják. Az 5. köz-ősnek talán keskeny, lefele álló orrcimpái voltak, szemben az újvilági, szélesorrú majmok széles, oldalra néző orrcimpáival. A nőstények talán menstruáltak, amely gyakori az emberszabásúak és az óvilági majmok között, de nem jellemző az újvilágiakra. Füljáratát feltehetőleg a dobcsont alkotta, ellentétben az újvilági majmokkal, amelyek fülében nincs csontos járat.

Vajon volt-e farka? Csaknem biztosan igen. Mivel az emberszabásúak és a majmok közti fő különbség éppen a farok megléte vagy hiánya, a *non sequitur* arra csábít bennünket, hogy a 25 millió évet választóvonalnak tekintsük, annak a pillanatnak, amikor farkunk elveszett. Valójában az 5. köz-ős feltehetően farkas volt, mint ténylegesen az összes többi emlős, míg a 4. köz-ős farkatlan volt, ahogy valamennyi mai emberszabású leszármazottja is. Azt azonban nem tudjuk, hogy az 5. köz-őstől a 4-ig vezető út mely pontján lett oda az a farok. Nincs különösebb okunk arra sem, hogy az „emberszabású" szóval jelezzük a farok elvesztését. A *Proconsul* nevű fosszilis afrikai nem például inkább tekinthető emberszabásúnak, mint majomnak, mivel az 5. találkozás villájának emberszabású ágán fekszik, ám ez a tény semmit nem árul el arról, hogy volt-e farka vagy sem. Történetesen a bizonyítékok egyenlege inkább arra utal, egy legutóbbi meghatározó tanulmány címét idézve, hogy a „*Proconsul*nak nem volt farka". Ez azonban semmi esetre sem abból következik, hogy a találkozás az elágazás emberszabású oldalára esik.

Akkor hát minek nevezzük az 5. köz-ős és a *Proconsul* közti átmeneteket, mielőtt elveszítették volna a farkukat? Egy rigorózus kladista emberszabásúnak nevezné őket, mert a villa emberszabású oldalára esnek. A taxonómusok másik fajtája farkuk miatt majomnak nevezné őket. Nem először mondom, hogy butaság túlzott indulatba jönni a nevek miatt.

Az óvilági majmok, a Cercopithecidae valódi kládot alkotnak, azaz olyan csoportot, amely egy közös ős valamennyi leszármazottját magában foglalja. A „majmok" összessége viszont nem, mivel abba az újvilági majmok, a Platyrrhini is beletartoznak. Az óvilági majmok közelebbi unokatestvérei az emberszabásúaknak, akikkel együtt tartoznak a keskenyorrúak, a Catarrhini közé, mint az újvilági majmoknak. Valamennyi emberszabású és majom együttesen egy természetes kládot alkotnak, az Anthropoidaet. A „majmok" szakszó mesterséges (műszóval: parafiletikus) csoportosítást takar, mivel idetartozik valamennyi szélesorrú, valamint némelyik keskenyorrú, de nem tartoznak ide a keskenyorrúak közül az emberszabásúak. A *catarrhine* szó szerint annyit jelent, mint 'lenti orr': lefelé néző orrlyukakkal – ebben a tekintetben mi ideális catarrhinusok vagyunk. Voltaire dr. Panglossa megfigyelte, hogy „az orr szemüveghez szabott, ezért hordunk szemüveget". Hozzá tehette volna, hogy lefelé álló orrcimpáink csodásan távol tartják az esőt. A *platyrrhinus* annyit jelent, mint 'lapos, vagy széles orr'. Nem ez az egyedüli diagnosztikai különbség a főemlősök e két csoportja között, de ez az, amelyről a nevüket kapták. Haladjunk tovább a 6. találkozás felé, s köszöntsük a szélesorrúakat!

5. köz-ős
Ez a köz-ős nagyjából úgy fest, mint egy mai óvilági majom: farka és lefelé álló orrcimpái vannak. Könnyű testfelépítésű lehetett, s gyümölcsöket keresve ügyesen mozgott a magasban, a fák koronájában. A rekonstrukció egy száraz afrikai erdő szélére helyezte.

6. TALÁLKOZÁS ■ ÚJVILÁGI MAJMOK

6

A 6. találkozásra, ahol az újvilági szélesorrú „majmok" és körülbelül 3 milliomodik ősszülőnk, a 6. köz-ős, az első anthropoid találkoznak velünk, körülbelül 40 millió éve került sor. A buja trópusi erdők időszaka volt ez – még az Antarktisz is részben zöldült akkoriban. Bár ma valamennyi szélesorrú majom Dél- és Közép-Amerikában él, maga a találkozás csaknem bizonyosan nem itt esett meg. Sejtésem szerint a 6. találkozás valahol Afrikában van. Egy csoport afrikai laposorrú főemlősnek, amelyek nem hagytak maguk után mai populációt, egy kis alapító népesség formájában valahogyan sikerült átjutnia Dél-Amerikába. Nem tudjuk, mikor történt ez, csak azt, hogy valamikor 25 millió (amikor az első majomkövületek Dél-Amerikában megjelennek) vagy 40 millió évvel ezelőtt (a 6. találkozás). Dél-Amerika és Afrika a mainál közelebb feküdtek egymáshoz, a tengerszint alacsony volt, így talán egy Nyugat-Afrikából kiinduló, a távolságon átívelő szigetláncolatot is szárazon hagyott, amelyen kényelmesen lehetett szigetről szigetre szökellni. A majmok esetleg mangrovemocsarak töredékein tutajoztak át, amelyek lebegő szigetek gyanánt rövid ideig fenn tudták tartani az életet. Az áramlások iránya éppen megfelelő volt az alkalmi tutajozáshoz. Egy másik nagy állatcsoport, a kúszósül-szerűeké körülbelül ugyancsak ez idő tájt érkezett Dél-Amerikába. Talán szintén Afrikából indultak, s nem véletlen, hogy az afrikai tarajos sül, a *Hystrix* után nevezték el őket. Talán a majmok épp azon a szigetláncon, ugyanazon kedvező áramlásokat kihasználva, bár feltehetőleg nem ugyanazon a tutajon hajóztak át, mint a rágcsálók.

Vajon az összes újvilági főemlős egyetlen bevándorlótól származik? Esetleg a főemlősök a szigetugró folyosót többször is igénybe vették?* Mi bizonyíthatja a kettős bevándorlást? Ami a rágcsálókat illeti, még ma is vannak kúszósül-szerűek Afrikában, többek közt a tarajos sülök, a vakondpatkányok, a dassie patkányok és a nádi patkányok. Ha kiderülne, hogy némely dél-amerikai rágcsáló közeli rokona bizonyos afrikaiaknak (mondjuk a tarajos sülnek), míg más dél-amerikai rágcsálók más afrikaiaknak volnának közelebbi rokonai (mondjuk a vakondpatkányoknak), ez jól bizonyítaná, hogy a rágcsálók többször sodródtak Dél-Amerikába. Minthogy nem ez a helyzet, így e tény azt a nézetet erősíti, hogy a rágcsálók csak egyszer terjedtek el Dél-Amerikában, jóllehet a bizonyíték nem túl erős. A dél-amerikai főemlősök ugyancsak közelebbi rokonai egymásnak, mint bármely afrikai főemlősnek. Ez ugyancsak az egyszeri elterjedés feltevésével vág egybe, jóllehet a bizonyíték itt sem erős.

* Az „igénybe vették" persze szerencsétlen kifejezés, mert többet sejtet a véletlennél. Mint majd *A dodó meséjében* meglátjuk, egyetlen állat sem próbál benépesíteni vadonatúj területeket. Ám amikor véletlenül ez mégis megesik, az evolúciós következmények hatalmasak lehetnek.

Éppen jó alkalom ez annak megismétlésére, hogy a tutajozás valószínűtlensége távolról sem jelenti azt, hogy erre hivatkozva kételkedhetnénk megtörténtében. Ez

Az újvilági majmok csatlakoznak
A körülbelül 100 fajból álló újvilági majmok leszármazása némileg vitatott, de mi itt a mai közmegegyezést követjük.

Képek balról jobbra:
arany oroszlánmajmocska *(Leontopithecus rosalia)*; bagolymajom *(Aotus trivirgatus)*; selyemmajom *(Saimiri sciureus)*; fekete bőgőmajom *(Alouatta caraya)*; szerzetes száki *(Pithecia monachus)*

meglepően hangzik. A mindennapokban a valószínűség nagyfokú hiánya általában jó ok arra, hogy úgy véljük, a dologra nem kerül sor. A majmok, a rágcsálók vagy bárki más interkontinentális tutajozásában az a lényeg, hogy csak egyszer kellett megesnie ahhoz, hogy nagy horderejű következményekkel járjon, és az ehhez rendelkezésre álló idő jócskán meghaladja felfogóképességünk határait. Egy vemhes nőstény majmot szállító lebegő és végül valamely évben partra vetődő mangrove esélye tízezer lehet az egyhez. Ez az emberi tapasztalat fényében egyenlő a nullával, ám 10 millió évet figyelembe véve csaknem elkerülhetetlen. Ha már egyszer megtörtént, a többi már könnyen ment. A szerencsés nőstény családnak adott életet, amely végül dinasztiává terebélyesedett, végül ebből sarjadt ki az újvilági majmok valamennyi faja. Csupán egyetlenegyszer kellett megesnie: mert kis kezdetből lesznek a nagy dolgok.

Mindenesetre a véletlenszerű tutajozások nem olyan ritkák, mint gondolnánk. Az uszadékon gyakran láthatók kis állatok. Sőt nem is mindig kicsik. A zöld iguána általában egy méter hosszú, de megnőhet kétméteresre is. Az alábbi idézet Ellen J. Censky és munkatársai *Nature*-ben megjelent cikkéből való:

> 1995. október 4-én a zöld iguána, az *Iguana iguana* legalább 15 példánya bukkant föl Anguilla keleti partjain a Karib-tengeren. Ez a faj korábban nem fordult elő a szigeten. Egy szálfákból és gyökerestől kitépett fákból álló szövevényen érkeztek. Némelyik törzs 30 láb hosszú is volt, hatalmas gyökérbozonttal. A helybéli halászok elmondása szerint a fonadék olyan nagy volt, hogy két napig tartott, mire felhalmozták a parton. Elmondásuk szerint láttak iguánákat mind a parton, mind a fatörzseken.

Az iguánák feltehetően egy másik sziget fáin éjszakáztak, amelyeket egy hurrikán tépett ki és bocsátott vízre: vagy a Luis, amely szeptember 4-5-én tombolt végig a keleti Karib-tengeren, vagy a két héttel későbbi Marilyn. Anguillát egyik hurrikán sem érintette. Censky és munkatársai ezt követően fogtak be vagy figyeltek meg iguánákat Anguillán és egy kis szigeten a parttól fél kilométerre. A populáció 1998-ban még létezett Anguillán, és köztük volt legalább egy aktívan szaporodó nőstény.*

* Az iguánák és a rokon gyíkfélék világszerte különösen jók a szigetek benépesítésében. Az iguánák még Fidzsin és Tongán is megjelennek, amelyek jóval távolabb esnek a parttól, mint a Nyugat-indiai-szigetek.

Nem tudom megállni, hogy meg ne említsem, mennyire borzongató az effajta „csak egyszer kellett megtörténnie" logikának az alkalmazása a házunk tájához közelebbi eshetőségekre. A nukleáris elrettentés elve és a nukleáris fegyverek birtoklásának egyedüli halványan védhető igazolása az, hogy a tömeges megtorlástól való félelmében senki sem meri megkockáztatni az első csapást. Mekkora esély van azonban egy elhibázott rakétaindításra: egy megkergült diktátorra, egy meghibásodott számítógépes rendszerre vagy az elszabaduló félelemre? A világ legnagyobb nukleáris hatalmának jelenlegi vezetője (2003-at írunk) szerint ez a szó a „nukuláris". Még egy jel sem utalt arra, hogy bölcsessége vagy intelligenciája meghaladná az olvasottságát. Viszont megmutatta, mily előszeretettel viseltetik a „megelőző" első csapások iránt. Mekkora esélyünk van egy rettenetes hiba, egy Armageddon kiváltásának elkerülésére? Száz az egyhez bármelyik éven belül? Én borúlátóbb lennék. Rettenetesen közel kerültünk 1963-hoz, márpedig akkor az Elnök is intelligens volt. Mindenesetre, mi történhet Kasmírban, Izraelben, Koreában? Még ha az esély évente csupán egy a százhoz, a szóban forgó katasztrófa méretéhez képest egy évszázad akkor is nagyon rövid idő. És csak egyszer kell megesnie.



Ötödik kar
A fekete bőgőmajom *(Alouatta caraya)* bemutatja fogófarok-tudományát.

De térjünk vissza az újvilági majmok vidámabb témájához. Amellett hogy sok óvilági majomhoz hasonlóan ők is négy lábon járnak az ágakon, némely újvilági majom függeszkedik, sőt brachiál is, mint a gibbonok. A faroknak feltűnő szerepe van az újvilági majmok esetében, és a pókmajom, a gyapjasmajom, valamint a bőgőmajom mintegy fölös karként fogódzkodik is vele. Vidáman lógaszkodnak pusztán farkuknál fogva, vagy a karok, lábak és a farok bármilyen kombinációjában. A farok végén nincs kéz, de ha egy pókmajmot nézünk, könnyen hihetnénk azt, hogy van.*

Az újvilági majmok között találunk néhány látványosan akrobatikus ugrót, és itt van az egyetlen éjszakai anthropoid, a bagolymajom. A bagolymajmoknak, akárcsak a baglyoknak vagy a macskáknak, hatalmas szemei vannak – a legnagyobbak a majmok és az emberszabásúak között. A törpe selyemmajom akkora, mint egy pele – kisebb bármelyik anthropoidnál. A legnagyobb bőgőmajom viszont csaknem akkora, mint egy hatalmas gibbon. A bőgőmajmok abban is hasonlítanak a gibbonokra, hogy jól tudnak karjaikon függeszkedni és hintázni, és éppoly zajosak is – csak míg a gibbonok hangja olyan, mint egy teljes hangerővel visító New York-i rendőrségi sziréna, addig a rezonáló, üreges, csontszerű hangdobozú bőgőmajomcsapat engem a lökhajtásos gépek fantomosztagára emlékeztet, amint hátborzongatóan bőgnek a fák csúcsán. Történetesen a bőgőmajmoknak van egy tanulságos meséjük a mi számunkra, óvilágiaknak arról, hogyan látják ők a színeket, mert ők tőlünk függetlenül jutottak ugyanarra a megoldásra.

* A kapaszkodófarkat más dél-amerikai állatcsoportoknál is megtaláljuk, így a faroksodró medvénél (ragadozó), a tarajos sülnél (rágcsáló), a fahangyásznál (vendégízületes) és az oposszumnál (erszényes), sőt a szalamandránál, a *Bolitoglossa*nál is. Van valami különös Dél-Amerikában? Ám a kapaszkodófarok feltűnik a nem dél-amerikai tobzoskán, némely fapatkányon, némelyik szkinken és kaméleonon is.

A BŐGŐMAJOM MESÉJE *(társszerző: Yan Wong)*

Az új gének nem a semmiből kerülnek a genomba. Régebbi gének másolataiból származnak. Aztán az evolúciós idő folyamán mutáció, szelekció és sodródás révén önálló útra térnek. Általában nem látjuk ezeket a történéseket, de akár a bűntett színhelyére érkező detektív, a fennmaradt bizonyítékokból összeállíthatjuk, minek is kellett történnie. A színlátással kapcsolatos gének meglepő példát szolgáltatnak erre. Hamarosan megvilágosodó okoknál fogva a bőgőmajom különösen megfelelő helyzetben van ahhoz, hogy elmondja ezt a történetet.

Kialakulásuk évmilliói során az emlősök éjszakai állatok voltak. A nap a dinoszauruszoknak ragyogott, amelyek, mai rokonaik alapján, nagyszerű színlátással ren-

delkeztek. Jó okkal vélhetjük, hogy az emlősök távoli ősei, az emlősszerű hüllők, amelyek a dinoszauruszok felemelkedése előtt megtöltötték a nappalt, ugyancsak kiváló színlátással bírtak. Ám az emlősök hosszú éjszakai száműzetése idején szemüknek minden aprócska fotont el kellett csípnie, színre való tekintet nélkül. Nem meglepő, hogy olyan okoknál fogva, amelyek majd *A barlangi vaklazac meséjé*ben kerülnek terítékre, a színmegkülönböztetés visszafejlődött. Ma még a nappali élethez visszatért emlősöknek is viszonylag gyenge a színlátásuk, hiszen látórendszerük csak két színt érzékel (dikromatikusak). Ez azt jelenti, hogy a retinának két különféle színérzékeny sejtje – csapja – van. Nekünk, a keskenyorrú emberszabásúaknak és az óvilági majmoknak három: vörös, zöld és kék, vagyis trikromatikus, ám a bizonyítékok szerint mi *visszanyertük* a harmadik fajtájú csapokat, miután éjszakai őseink elveszítették azt. A legtöbb gerincesnek, így a halaknak és a hüllőknek, de nem az emlősöknek, három (trikromatikus) vagy négy (tetrakromatikus) csapos látásuk van, de a madaraknak és a teknősöknek még kifinomultabb lehet. Mindjárt rátérünk az újvilági majmok rendkívül különleges és a bőgőmajom még annál is különlegesebb esetére.

Érdekes módon bizonyítékunk van arra, hogy az ausztráliai erszényesek különböznek a legtöbb emlőstől abban, hogy jó trikromatikus látásuk van. Catherine Arrese és munkatársai, akik ezt felfedezték a mézoposszumban és a dunnartban *(Smynthopsis)* (majd a valabiban is), felvetik, hogy az ausztrál erszényesek (de az amerikaiak nem) megőriztek egy olyan ősi hüllőlátópigmentet, amelyet a többi emlősök elveszítettek. Meglehet, a gerincesek között általában az emlősök színlátása a leggyengébb. A legtöbb emlős, ha egyáltalán lát színt, akkor sem jobban, mint egy színvak ember. A figyelemre méltó kivételek a főemlősök között találhatók, és nem véletlenül ők azok, amelyek a többi emlőscsoportnál sokkal inkább kihasználják a feltűnő színeket a nemi különbségek jelzésére.

Ellentétben az ausztrál erszényesekkel, amelyek soha nem veszítették el, ha emlős rokonainkat megvizsgálva megállapíthatjuk, hogy mi, főemlősök nem megőriztük hüllő őseink trikromatikus látását, hanem újra felfedeztük, méghozzá nem is egyszer, hanem egymástól függetlenül kétszer: először az óvilági majmok és emberszabásúak, és másodszor az újvilági bőgőmajmok, noha nem általánosságban az újvilági majmok. A bőgőmajom színlátása hasonlít az emberszabásúakéra, ugyanakkor mégis különbözik annyira, hogy eltérő eredetéről árulkodjon.

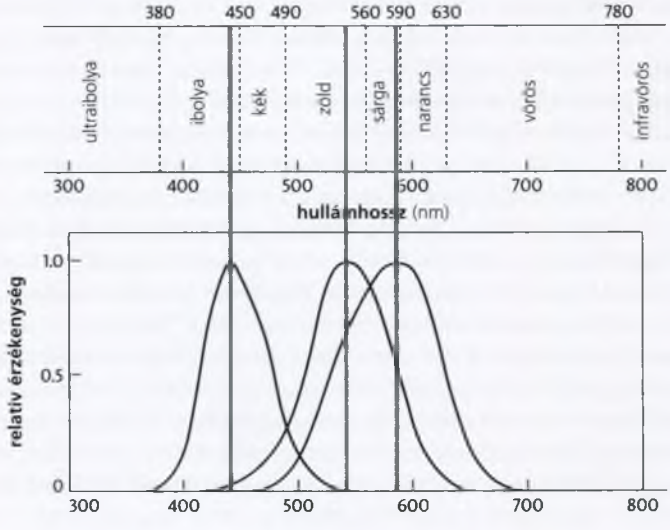
Miért lehet a jó színlátás olyan fontos, hogy a trikromatizmus az új- és az óvilági majmokban egymástól függetlenül is kialakult? Egy közkedvelt feltevés szerint a gyümölcsevéssel függ össze. A túlnyomóan zöld erdőben a gyümölcsök színükkel tűnnek ki. Ez viszont vélhetően nem véletlen. A gyümölcsök feltehetően azért fejlesztettek feltűnő színeket, hogy odacsalogassák az olyan gyümölcsevőket, mint a majmok, akik kulcsszerepet játszanak magvaik elterjesztésében és megtrágyázásában. A trikromatikus látás a sötétebb zöld háttérben a (gyakran halványzöld, sőt olykor piros) fiatal, lédúsabb levelek felderítésében is segít – bár ez már feltehetően nem a növény javát szolgálja.

A szín elkápráztatja a képzeletünket. A színek nevét az elsők közt tanulják meg a kisgyermekek, és ezek kötődnek a legszorosabban a hozzájuk illő főnevekhez is. Könnyen megfeledkezünk arról, hogy az általunk látott árnyalatok csupán alig eltérő hullámhosszúságú elektromágneses sugárzásra aggatott címkék. A vörös fény

hullámhossza körülbelül a méter 700 milliárdod része, az ibolya körülbelül 420 milliárdod része, de az e két határérték közé eső látható elektromágneses sugárzás teljes skálája egy csaknem nevetségesen keskeny ablak, a teljes spektrum parányi töredéke, amelynek hullámhossza a kilométerektől (bizonyos rádióhullámok) a nanométer töredékéig terjed (gamma-sugarak).

Bolygónkon az összes szem úgy épül föl, hogy kiaknázza az elektromágneses sugárzás azon hullámhosszait, amelyeken helyi csillagunk a legfényesebben ragyog, és amelyek áthatolnak légkörünk ablakán. Egy olyan szem számára, amely elkötelezte magát az e hullámhosszak lazán meghatározott tartományainak megfelelő biokémiai technikák mellett, a fizikai törvények élesebb határokat szabnak az elektromágneses spektrum azon része elé, amelyet ezen technikák segítségével látni lehet. Semmilyen állat nem lát messzire az infravörös tartományban. A legmesszebb a gödrös viperák látnak, akiknek a fején lévő gödrök, bár az infravörös sugarakkal semmiképp nem fókuszálnak megfelelő képet, lehetővé teszik, hogy ezek a kígyók az áldozat által termelt hő érzékelése révén tájékozódjanak. Emellett egyik állat sem lát messzire az ultraibolya fényben sem, bár némelyek, például a méhek, nálunk némileg távolabb látnak. Másfelől viszont a méhek nem látják a mi vörösünket. Számukra ez infravörös. Valamennyi állat egyetért azzal, hogy a „fény" nem más, mint elektromágneses hullámhosszak szűk sávja, amely valahová az ultraibolya és az infravörös közé esik, az előbbivel az innenső, az utóbbival a túlsó végén. A méhek, az emberek és a kígyók csupán kissé térnek el egymástól abban, hol húzzák meg a „fény" szélső értékeinek határait.

Még szűkebb képet kapunk a retina egyes fényérzékeny sejtjeinek különböző fajtái által. Némely csap a színkép vörös végére érzékenyebb, míg mások a kékre. Éppen a csapok közti összehasonlítás teszi lehetővé a színlátást, és a színes kép minősége nagyban függ attól, hány különböző fajta összehasonlítható csappal rendelkezünk. A dikromatikus állatoknak csak két csappopulációjuk van, amelyek összevethetők egymással. A trikromatikusoknak három, a tetrakromatikusoknak



négy. Minden csapnak van egy érzékenységi görbéje, amely valahol a színképtartományban kicsúcsosodik, majd aláhanyatlik, nem feltétlenül szimmetrikusan a csúcs két oldalán (lásd az előző oldali ábrát). Az érzékenységi görbe szegélyein kívül a sejt vaknak mondható.

A csapsejtek három típusának viszonylagos érzékenysége a különböző hullámhosszakra. Bár a csapsejteket kék, zöld és vörös címkékkel látják el, érzékenységük az ibolyában, a zöldben és a sárga narancsos árnyalatában csúcsosodik ki. A háromféle csap reakcióit az agy fűzi össze, és teremti meg a látott színárnyalatokat.

Tegyük fel, hogy egy csap érzékenysége a színkép zöld oldalán csúcsosodik ki. Vajon ez azt jelenti, hogy az a sejt agy felé továbbított impulzusai szerint olyan zöld tárgyat lát, mint mondjuk a fű vagy egy biliárdasztal? Határozottan nem. Csupán arról van szó, hogy a sejtnek több (mondjuk) vörös fényre volna szüksége ugyanolyan kibocsátási szinthez, mint amit egy adott zöld fénymennyiséggel elér. Egy ilyen sejt azonos módon viselkedne a ragyogó vörössel vagy a halványzölddel szemben.* Az idegrendszer csak azáltal határozza meg valamely tárgy színét, hogy *összehasonlítja* (legalább) két, különböző színeket kedvelő sejt egyidejű kibocsátásának erősségét. Mindegyik „kontrollálja" a másikat. Jobb képet alkothatunk tehát valamely tárgy színéről, ha három, eltérő érzékenységi görbékkel rendelkező sejt kibocsátási intenzitását vetjük össze.

A színes tévé és a számítógép-monitor, kétségtelenül azért, mert a mi trikromatikus szemünkhöz szabták őket, ugyancsak a három-szín elv alapján működik. Egy szabványos monitoron minden „pixel" három, egymáshoz oly közel elhelyezett pontból áll, hogy a szemünk nem tudja őket elkülöníteni. Minden pont mindig ugyanolyan színben ragyog – ha kellő nagyításban nézzük meg a képernyőt, mindig ugyanazt a három színt látjuk, általában a vöröst, a zöldet és a kéket, bár más variációk is megteszik. A test tónusait, a finom színárnyalatokat – bármely tetszőleges színfokozatot – e három főszín izzásintenzitásának beállításával kaphatjuk meg.**

Ehhez hasonlóan agyunk pusztán háromfajta csap jeltovábbításának erőssége alapján rengeteg színárnyalat érzékelésére képes. Ám a legtöbb méhlepényes emlős, mint már megállapítottuk, nem trikromatikus, hanem dikromatikus, vagyis csak kétfajta csap található a retinájukban. Az egyik csoport az ibolyában csúcsosodik ki (vagy némely esetben az ultraibolyában), a másik valahol a zöld és a vörös között. Bennünk, trikromatikusokban a rövid hullámhosszú csapok az ibolya és a kék közt csúcsosodnak ki, s ezeket rendszerint kék csapoknak hívjuk. A csapok másik két csoportját zöld és vörös csapoknak nevezhetjük. Félrevezető módon még a „vörös" csapok is a ténylegesen sárgás hullámhosszon csúcsosodnak ki. Ám érzékenységi görbéjük egészében belenyúlik a színkép vörös tartományába. Bár a sárgánál csúcsosodnak ki, azért a vörös fényre is erősen reagálnak. Mindez azt jelenti, hogy ha levonjuk a „zöld" csapok továbbítási erősségét a „vörös" csapokéból, akkor különösen magas értéket kapunk, ha vörös fényt látunk. Mostantól elfeledkezem az érzékenységi csúcsokról (ibolya, zöld és sárga), és a csapok három kategóriáját csak kéknek, zöldnek és vörösnek nevezem. A csapok mellett pálcikák is vannak: a csapoktól eltérő alakú fényérzékeny sejtek, amelyek különösen éjszaka hasznosak, és a színlátásban egyáltalán nincs szerepük. Így nem is jutnak szóhoz történetünk folytatásában.

* Ez egy zavarba ejtő lehetőséget vet föl. Képzeljük el, hogy neurobiológusok egy parányi szondát helyeznek el mondjuk a zöld csapba, majd elektromosan ingerlik. Ekkor a zöld sejt „fényről" tájékoztat, míg az összes többi hallgat. Vajon az agy ekkor olyan „szuper zöld" színárnyalatot „lát", amilyet semmilyen valódi fénnyel nem lehetne elérni? Bármilyen tiszta legyen is a valódi fény, különböző mértékben, de mindig mindegyik csapfajtát ingerli.

** Bár például a teknősök tetrakromatikusok, valószínűleg nagyot csalódnának a televízióink képernyőjén vagy a mozivásznainkon megjelenő (számukra) igencsak valószerűtlen képeket látva.

A színlátás kémiáját és genetikáját meglehetősen jól megértettük. A történet molekuláris főszereplői az opszinok, a csapokon (és a pálcikákon) elhelyezkedő látópigmentek. Az egyes opszinmolekulák úgy működnek, hogy rátapadnak egy-egy retinamolekulára – egy, az A-vitaminból származó vegyületre –, és magukba zárják.* A retinamolekulát előzőleg erősen összegubancolják, hogy beleférjen az opszinba. Amikor a fény egy megfelelő fotonja nekiütközik, a gubanc kiegyenesedik. Ez ad jelet a sejtnek az idegi impulzus elküldésére, amely azt közli az aggyal, hogy „*itt* az én fényfajtám". Ezután az opszinmolekula a sejt raktárából egy másik összegubancolt retinális molekulával cserélődik ki.

A döntő pont az, hogy nem minden opszinmolekula egyforma. Az opszinok, mint minden fehérje, a gének hatására képződnek. A DNS-eltérések az opszinokban azt eredményezik, hogy különböző színekre érzékenyek, így ez a genetikai alapja a már megtárgyalt kétszínű és háromszínű rendszereknek. Természetesen, mivel minden gén jelen van minden sejtben, a vörös és a kék csapok közt nem az a különbség, hogy melyik gén található meg bennük, hanem hogy melyik géneket aktiválják. Márpedig létezik néhány olyan szabály, amelyek előírja, hogy valamely csap csak bizonyos fajtájú gént aktiválhat.

A zöld és a vörös opszinokat előállító gének nagyon hasonlítanak egymáshoz, és az X-kromoszómán ülnek (vagyis azon a nemi kromoszómán, amelyből a nőkben két, míg a hímekben csak egy példányban van jelen). A kék opszint előállító gén egy kissé más, és nem is a nemi kromoszómán, hanem az autoszómáknak nevezett közönséges, nem nemi jellegű kromoszómán található (esetünkben a 7-es számú kromoszómán). Zöld és vörös sejtjeink nyilván egy utóbbi génmegkettőződésből származnak, és jóval régebben bizonyára a kék opszin génből származtak egy másik megkettőződés eredményeként. Az, hogy valamely egyednek dikromatikus vagy trikromatikus látása van-e, attól függ, hány különböző opszin gén található a genomjában. Ha mondjuk van kék- és zöldérzékeny opszinja, de nincs piros, akkor dikromatikus lesz.

Ez a színlátás működésének általános háttere. Mielőtt a bőgőmajmok sajátos esetére térnénk, és meglátnánk, miként váltak trikromatikussá, meg kell ismerkednünk a többi újvilági majom különös dikromatikus rendszerével (különben néhány lemurnak is ilyen van, viszont nem minden újvilági majom rendelkezik ezzel – például az éjszakai bagolymajomnak monokromatikus a látása). A fejtegetés erejéig az „újvilági majmokba" beleértem a bőgőmajmokat és néhány más kivételes fajt is. Majd később térünk rá a bőgőmajmokra.

Először is, egy autoszóma változatlan tartozékaként tegyük félre a kék gént, mint amely minden egyedben, hímben és nőstényben egyaránt jelen van. Az X-kromoszómán honoló vörös és zöld gének bonyolultabb esetet képviselnek, úgyhogy most ők kötik le a figyelmünket. Minden X-kromoszómának csak egy olyan locusa van, ahol a vörös vagy a zöld** allél megtelepedhet. Mivel egy nőstény két X-kromoszómával rendelkezik, két lehetősége van a vörös vagy a zöld génre. Viszont egy hímnek, egyetlen X-kromoszómájával *vagy* zöld, vagy vörös génje van, de *nem* mindkettő. Így egy tipikus hím újvilági majomnak dikromatikusnak kell lennie. Csak kétfajta csapja van: kék és *vagy* vörös, vagy zöld. A mi fogalmaink szerint valamennyi hím színvak, de kétféle módon az: egy populációban az egyik hímből a zöld opszin, a másikból a vörös hiányzik. Mindegyiknek van viszont kék opszinja.

* A sárgarépa gazdag béta-karotinban, amelyből A-vitamin állítható elő: innét a pletyka – a pletykák is lehetnek igazak –, hogy a sárgarépától jobban látunk.

** Valójában a vörös és a zöld csak kettő az ezen locusra eső lehetőségek sorából, de így is épp elég nehézséggel kell megbirkóznunk. E mese céljára határozottan „vörösnek" és „zöldnek" tekintjük őket.

A nőstények potenciálisan szerencsésebbek. Mivel két X-kromoszómájuk van, kis szerencsével egyiken lehet vörös, a másikon zöld génjük (no és a kék, amely magától értetődően jelen van). Az ilyen nőstény trikromatikus lenne.* Ám egy szerencsétlen nősténynek esetleg két vörös vagy két zöld génje van, így dikromatikus lenne. Fogalmaink szerint az ilyen nőstények színvakok, mégpedig kétféleképpen, éppen úgy, mint a hímek.

Valamely újvilági majompopuláció, mint az oroszlánmajmocskáké vagy a selyemmajmoké, éppen ezért igencsak bonyolult keverék. Az összes hím és némely nőstény dikromatikus: vagyis fogalmaink szerint színvak, de két lehetséges módon. Bizonyos nőstények, de egyetlen hím sem, trikromatikusak, valódi színlátók, mégpedig feltehetően hozzánk hasonlóan. Álcázott ketrecekben élelmet kereső oroszlánmajmocskákon végzett kísérletek tanulsága szerint a trikromatikus egyedek nagyobb sikerrel jártak, mint a dikromatikusok. Talán az élelmet kereső újvilági majomhordák a trikromatikus nőstényekre bízzák a szerencséjüket az élelem fellelése terén, amelyet máskülönben többségükben nem találnának meg. Másfelől elképzelhető, hogy a dikromatikusok akár magukban, akár a másik fajta dikromatikusokkal együttműködve különös előnyökre tettek szert. A második világháborúból fennmaradt anekdota szerint a bombázógépek legénységének egyik tagját kifejezetten a színvakok közül toborozták, mivel ők bizonyosfajta álcákat jobban ki tudtak szemelni, mint máskülönben szerencsésebb trikromatikus bajtársaik. A kísérleti bizonyítékok megerősítik, hogy a dikromatikus emberek valóban felfednek bizonyos álcázásokat, amelyek megtévesztik a trikromatikusokat. Talán egy trikromatikus és kétfajta dikromatikus egyedekből álló majomcsapat együttesen többféle gyümölcsöt talál, mint egy csapat tiszta trikromatikus? Túlzásnak tűnhet, de nem ostobaság.

Az újvilági majmok vörös vagy zöld opszinjai példák a „polimorfizmusra". A polimorfizmus valamely gén egy vagy több lehetséges változatának jelenléte valamely populációban, ahol egyik sem elég ritka ahhoz, hogy csupán egy újabb mutációnak számítson. Az evolucionista genetika jól megalapozott elve, hogy az efféle polimorfizmus nem alakul ki alapos ok nélkül. Hacsak nem áll fenn valami különleges helyzet, a vörös génnel rendelkező majmok vagy jobban, vagy rosszabbul járnak, mint a zöld génnel rendelkezők. Nem tudjuk, melyik az igaz, de nagyon valószínűtlen, hogy egyformán jól járnának. Márpedig az alacsonyabb rendűnek ki kell halnia.

Eszerint egy szilárd polimorfizmus léte egy populációban azt jelzi, hogy valami különleges helyzet áll fenn. De vajon mi? A polimorfizmusra általában két fő magyarázattal szolgálnak, melyek mindegyike vonatkozhat erre az esetre: az egyik a gyakoriságtól függő szelekció, a másik a heterozigótaság előnye. A gyakoriságtól függő szelekcióról akkor van szó, ha a ritkább típus pusztán ritkaságánál fogva élvez előnyt. Így, amint az a típus, amelyet „alacsonyabb rendűnek" véltünk, kihalásnak indul, megszűnik alacsonyabb rendűnek lenni, és újra felélénkül. Hogy lehetséges ez? Nos, tegyük fel, hogy a „vörös" majmok különösen jók a piros gyümölcsök meglátásában, míg a „zöldek" a zöld gyümölcsöt látják meg különösen jól. Egy vörös majmok által meghatározott populációban, amely a piros gyümölcsök zömét már elfogyasztja, egy magányos zöld majom, aki képes észrevenni a zöld gyümölcsöt, előnyt élvezhet – és megfordítva. Még ha ez nem is kifejezetten valószínű, az olyan *fajta* különleges körülményre jó példa, amely valamely populációban mind-

* Annak biztosítása, hogy valamely csapon vagy csak a vörös, vagy csak a zöld gén aktivizálódjék, de ne mindkettő, könnyen megy a nőstényeknek. Eleve van egy olyan mechanizmusuk, amely bármely sejtben lekapcsolja valamely X-kromoszóma egészét a sejtről. A sejt valamelyik fele hatástalanítja a két kromoszóma egyikét, vagyis a másik másik felét. Ez azért fontos, mert egy X-kromoszómán lévő valamennyi gén csak akkor lép működésbe, ha csak egy aktív – szükségszerűen, hiszen a hímeknek csak egy X-kromoszómájuk van.

két típust fenntarthatja anélkül, hogy az egyik kihalna. Nem nehéz belátni, hogy valahol a „bombázó legénység" teóriánk mentén lehet az a fajta különleges körülmény, amely megőrzi a polimorfizmust.

A heterozigótaság előnyére térve ennek klasszikus példája – úgyszólván kliséje – a sarlósejtes vérszegénység az embernél. A sarlós gén rossz: azoknak az egyéneknek, akikben két másolat van belőle (homozigóták), sarló alakra hasonlító károsodott vértestjeik vannak, és legyengítő vérszegénységben szenvednek. Jó azonban azokban az egyénekben, akikben csak egy van belőle (heterozigóták), mivel védelmet biztosít a maláriával szemben. Ahol a malária gondot jelent, a jó kiszorítja a rosszat, és a sarlós gén terjedésnek indul a populációban, azon káros hatásai ellenére is, amit a szerencsétlenségükre homozigóta egyedekre jelent.* Az újvilági majmok polimorf színlátási rendszerének feltárását John Mollon professzor és munkatársai kutatásainak köszönhetjük leginkább. Felvetik, hogy a trikromatikus nőstényeknek a heterozigótaság által élvezett előnye elegendő a vörös és zöld gének együttéléséhez populációban. Ám a bőgőmajom mindezt jobban műveli, és ez a tény közelebb visz bennünket magához a mesélőhöz.

A bőgőmajmok a polimorfizmus mindkét oldalának előnyeit élvezhetik, mégpedig azáltal, hogy egy kromoszómára vonták össze őket. Ezt egy szerencsés áttevődéssel – transzlokációval – sikerült elérniük. A transzlokáció a mutáció sajátos formája. Egy kromoszómadarab tévedésből valahogy felragad egy másik kromoszómára vagy egy másik helyre ugyanazon a kromoszómán. Úgy tűnik, ez történt a bőgőmajmok egyik szerencsés mutáns ősével, akiben ennek következtében a vörös *és* a zöld gén egyetlen X-kromoszómára került egymás mellé. Ez a majom esetleg már úton volt afelé, hogy az evolúció során valódi trikromatikussá váljon, még akkor is, ha hímről volt szó. A mutáns X-kromoszóma annyira elterjedt a populációban, hogy mára valamennyi bőgőmajomnál megvan.

A bőgőmajmok persze könnyen bemutathatták ezt az evolúciós trükköt, mert a három opszin gén már ott kószált az újvilági majmok populációjában, csupán azzal a különbséggel, hogy – néhány szerencsés nőstény kivételével – egy majomban csak kettő volt belőlük. Bennünk, emberszabásúakban és óvilági majmokban ugyanez a dolog másként valósult meg. Azok a dikromatikusok, akiktől mi származunk, csak egyféleképpen voltak dikromatikusok: nem volt olyan polimorfizmus, amelytől el lehetett volna rugaszkodni. Bizonyítékaink szerint amikor az opszin gén ősünk egy X-kromoszómáján megkettőződött, az valódi megkettőződés volt. Az eredeti mutáns egyszer csak ugyanazon gén két ikermásolatával rendelkezett, mondjuk két egymás melletti zöldének egyazon kromoszómán, s így nem egy csaknem-kész trikromatikus volt, mint a bőgőmajmok mutáns őse. Dikromatikus volt, egy kék és két zöld génnel. Az óvilági majmok fokozatosan, sorozatos evolúció folytán váltak trikomatikussá, mivel a természetes kiválasztódás előnyben részesítette a két X opszin gén színérzékenységének eltérését a zöld, illetve vörös irányba.

A transzlokáció során nem csupán a bennünket érdeklő gént látjuk elmozdulni. Olykor útitársaiktól is – szomszédjaiktól az eredeti kromoszómán, amelyek vele együtt költöznek az új kromoszómára – megtudhatunk valamit. Miként esetünkben is. Az *Alu*-nak nevezett gén jól ismert „áthelyeződő elem": egyfajta vírusszerű DNS-darab, amely a sejt DNS-gépezetének eltérítésével, parazitaként ismétli magát a genomban. Esetleg az *Alu* volt a felelős az opszin elmozdításáért? Úgy tűnik, igen.

* Ez sajnálatosan sok afrikai-amerikait sújt, akik már nem maláriás országban élnek, de örökölték az ilyen területeken élt őseik génjeit. Egy másik példa a legyengítő cisztás fibrózis betegség, melynek génje – heterozigóta formában – úgy tűnik, védelmet nyújt a kolera ellen.

Ha szemügyre vesszük a részleteket, rábukkanunk a cáfolhatatlan bizonyítékra. A másolt térség mindkét szélén *Alu* géneket találunk. Elképzelhető, hogy a másolás a parazitaszaporodás véletlen melléktermése volt. Az eocén korszak néhány rég elfeledett majmában egy, az opszin génhez közeli genomparazita szaporodni próbálván, a DNS-nek véletlenül a tervezettnél jóval nagyobb darabját másolta le, és elindított bennünket a hármas színlátáshoz vezető úton. Óvakodjunk azonban attól a túlságosan is gyakori kísértéstől, hogy utólagos okoskodással úgy véljük: mivel úgy tűnik, a genomparzita szívességet tett, a genomok a jövendőbeli szívességek reményében tartalmaznak parazitákat. A természetes kiválasztódás nem így működik.

Akár az *Alu* mesterkedésének köszönhető, akár nem, az efféle hibák olykor megesnek. Amikor az X-kromoszómák kereszteződésük előtt felsorakoznak, esetleg pontatlanul sorakoznak fel. Ahelyett hogy az egyik kromoszóma vörös génjének a másik kromoszómán a neki megfelelő másik vörös sorakozna föl, a gének hasonlósága megkeverheti a folyamatot, és a vörös egy zölddel kerül össze. A keresztezéskor „egyenlőtlenség" alakul ki: előfordulhat, hogy az egyik kromoszómába (mondjuk) egy többlet zöld kerül, míg a másikba nem jut egyáltalán zöld. Még ha kereszteződésre nem is kerül sor, a „géncserének" nevezett folyamat akkor is lejátszódhat, ahol az egyik kromoszóma egy rövid szekvenciája kicserélődik a másik kromoszóma megfelelő szekvenciájával. A hibásan felsorakozott kromoszómáknál a vörös gén egyik része kicserélődhet a zöld gén megfelelő részletével, vagy megfordítva. Mind az egyenlőtlen kereszteződés, mind a tévesen felsorakoztatott géncsere okozhat vörös-zöld színvakságot.

A férfiak gyakrabban szenvednek vörös-zöld színvakságban, mint a nők (a szenvedés nem súlyos, de kellemetlen, és feltehetően nem részesülnek az általunk, többiek által élvezett esztétikai élményekben), mivel ha egy hibás X-kromoszómát örökölnek, nincs másik, amely kisegíthetné. Senki sem tudja, vajon ugyanúgy látják-e a vért vagy a füvet, mint ahogy mi, többiek látjuk, mint ahogy azt sem, nem látják-e mindkettőt teljesen másféleképp. Valójában ez személyenként is eltérhet. Mindössze annyit tudunk, hogy a vörös-zöld színvakok úgy vélik, a fűszerű dolgok nagyjából ugyanolyan színűek, mint a vérszerűek. Az emberek esetében a dikromatikus színvakság a férfiak mintegy 2 százalékát sújtja. Ne zavarjon meg bennünket az a tény, hogy egy más fajtájú vörös-zöld színvakság történetesen jóval gyakoribb (körülbelül a férfiak 8 százalékát érinti). Az ilyen egyéneket rendellenes trikromatikusoknak nevezik, mivel genetikailag trikromatikusok, csak éppen háromfajta opszinjuk közül az egyik nem működik.*

Az egyenlőtlen kereszteződés nem mindig súlyosbítja a dolgokat. Némely X-kromoszóma több mint két opszin génhez jut. Úgy tűnik, a többletgének csaknem mindig zöldek, és nem vörösek. A rekord szám a párosával elhelyezkedő tizenkettő többlet zöld gén. Nincs arra bizonyíték, hogy a többlet zöld génnel rendelkező egyének jobban látnának, ám nem is minden „zöld" gén egyezik meg pontosan egymással – úgyhogy elvileg lehetséges olyan egyén, akinek nem trikromatikus, hanem tetra-, sőt pentakromatikus látása van. Tudtommal ezt még senki sem vizsgálta.

Az olvasóban talán nyugtalanító gondolat vetődött fel. Úgy beszéltem, mintha egy mutáció révén megszerzett új opszin automatikusan javítaná a színlátást. De természetesen a világon semmi haszna sincs a csapok színérzékenysége közti különbségnek, ha az agy nem rendelkezik valami olyan eszközzel, amelyből megtud-

* Mark Ridley a *Mendel's Demon* című könyvében (Mendel démona, amely Amerikában a *The Cooperative Gene* – Az együttműködő gén címmel jelent meg) kimutatja, hogy a 8 százalék az európaiakra és a jó orvostudományi múlttal rendelkező népekre vonatkozik. A vadászó-gyűjtögetőknél és a természetes szelekció vágóéléhez közelebb élő más „hagyományos" társadalmaknál ez az arány alacsonyabb. Ridley szerint a természetes kiválasztódás fellazulása tette lehetővé a színvakság terjedését. A színvakság egész kérdését sajátosan eredeti szemlélettel taglalja Oliver Sack *The Island of the Colour-Blind* (A színvakok szigete) című könyve.

ja, melyik csap küldi az üzeneteteket. Ha ezt gentikai huzalozással érnénk el – ez az agysejt ehhez a vörös csaphoz kötődik, amaz idegsejt amahhoz a zöld csaphoz –, akkor a rendszer működne, de képtelen volna megbirkózni a retina mutációival. Hogy is tudna? Hogyan várhatnánk el az agysejtektől, hogy „tudják", egy új, egy másik színre érzékeny opszin áll hirtelen rendelkezésre, és hogy a csapok egy bizonyos csoportja a retina hatalmas csappopulációjában ráállította a gént az új opszin gyártására?

Úgy tűnik, az egyetlen elfogadható magyarázat az, hogy az agy tanul. Feltehetőleg összeveti a retina csapsejt-populációiból eredő jelzések erősségét, és „észleli", hogy a sejtek egyik alpopulációja erősen jelez, amikor paradicsomot vagy epret lát, míg másik alpopuláció akkor jelez erősen, amikor az égre néz, és ismét másik, ha a fűre. Ez csupán „játék" spekuláció, de felteszem, valami hasonló teszi lehetővé, hogy az idegrendszer gyorsan alkalmazkodjék a retina genetikai változásához. Kollégám, Colin Blakemore, akivel felvetettük ezt a kérdést, úgy látja, hogy ez a probléma csak egy tagja annak a problémacsaládnak, amely mindig jelentkezik, valahányszor a központi idegrendszernek alkalmazkodnia kell egy, a periférián bekövetkezett változáshoz.*

*A bőgőmajom meséjé*nek végső tanulsága a génkettőződés fontossága. A vörös és a zöld opszin gének nyilvánvalóan egyetlen közös génőstől származtak, amely az X-kromoszóma különböző részeire másolta le magát. Még korábbi időben, biztosra vehetjük, hasonló megkettőződés választotta le a kék** autoszomális gént arról, amiből a vörös/zöld kromoszomális gén kialakult. Gyakran előfordul, hogy teljesen különböző kromoszómákon lévő gének ugyanabba a „géncsaládba" tartoznak. A géncsaládok úgy keletkeznek, hogy az ősi DNS-megkettőződéseket funkcionális eltérés követi. Különféle vizsgálatok azt igazolták, hogy egy tipikus emberi gén megkettőződésének valószínűsége egymillió évenként 0,1-től 1 százalékig terjed. A DNS-megkettőződés lehet aprólékos ügy, de történhet hirtelen is, mint például amikor egy friss, virulens parazita, mint az *Alu*, szétterjed a genomban, vagy amikor a genom egészében megkettőződik. (A növényekben gyakori teljes genommegkettőződés feltehetően legalább kétszer történt meg ősi leszármazási vonalunkon, a gerincesek kialakulása közben.) Tekintet nélkül arra, mikor vagy hogyan kerül sor rá, a véletlenszerű DNS-megkettőződés az új gének egyik fő forrása. Az evolúciós idő távlatában nem csupán a gének változnak a genomokban. A genomok maguk is változnak.

* Szerintem bizonyára az efféle tanulással élhetnek a madarak és a hüllők, akik színérzékenységük tartományát úgy növelték meg, hogy apró, színes olajcseppeket ültettek el a retinájuk felszínén.

** Vagy ultraibolya, vagy bármi volt is akkoriban. Feltehetőn az opszinok mindezen kategóriáinak színérzékenysége az evolúciós évek folyamán módosult.

7. TALÁLKOZÁS ■ KOBOLDMAKIK

7

Mi, emberszerű zarándokok az 58 millió évvel ezelőtti 7. találkozásra a paleocén kor sűrű és változatos erdőségeibe érkeztünk meg. Itt köszöntjük a koboldmaki nevű unokatestvéreink vékony evolúciós patakocskáját. Nevet is kell adnunk annak a kládnak, amely egyesíti az emberszerűeket és a koboldmakikat, s ez nem más, mint a Haplorhini, vagyis orrtükörnélküliek. Idetartozik 7. köz-ősünk, talán 6 milliomodik nagyszülőnk összes leszármazottjával: a koboldmakikkal, a „majmokkal" és az emberszabásúakkal együtt.

A koboldmakikon elsőként a szemük tűnik fel. A koponyán nem is igen akad több látnivaló: egy szempár lábakon – így ragadhatnánk meg a koboldmakik lényegét. Szemei akkorák, mint a teljes agy, és a pupilla is rendkívül tág. Ha szemből nézzük a fejet, úgy tűnik, mintha egy divatosan túlméretezett, hogy ne mondjam: óriás szemüveget viselne. Nagy méretük miatt a szemgolyókat nehéz forgatni az üregükben, de a koboldmakik, akárcsak a némelyik bagoly, megbirkóznak a kihívással. Rendkívül rugalmas nyakukon az egész fejüket körbe forgatják csaknem 360 fokban. Hatalmas szemeik magyarázata ugyanaz, mint a baglyok és az éjszakai majmok esetében – vagyis a koboldmaki éjszakai állat. A holdfényre, a csillagfényre és a derengésre építenek, s így össze kell csipegetniük minden lehetséges fotonmorzsát.

A többi éjszakai emlős retinája mögött egy tapetum lucidum – egy visszaverő réteg található, amely visszafordítja a fotonokat, s így a retina pigmentjeinek még egy esélyt ad felfogásukra. A tapetum miatt vesszük észre könnyen éjszaka a macskákat és más állatokat.* Ha egy zseblámpával körbevilágítunk, fénye a közelben lévő összes állat figyelmét magára vonja, amelyek kíváncsiságból egyenesen a fénybe néznek. A fénysugár visszaverődik a tapetumról. Olykor egy tucatnyi szempárt is megfigyelhetünk egyetlen pásztázással. Ha a villanyfény annak a természeti környezetnek a része lenne, amelyben az állatok kialakultak, bizonyára nem fejlesztettek volna ki tapedum lucidumot, olyannyira árulkodó.

A koboldmakiknak viszont meglepő módon nincs tapedum lucidumuk. Felvetődött, hogy őseik, akárcsak a többi főemlős, bizonyára átestek egy nappali fázison is, amikor elvesztették a tapetumot. Ezt támasztja alá az a tény is, hogy a koboldmakiknak ugyanaz a bizarr színlátó rendszerük van, mint az újvilági majmok többségének. Számos olyan emlőscsoport, amely a dinoszauruszok idejében éjszakai állat volt, nappalivá vált, amint a dinoszauruszok kihalása ezt biztonságossá tette. Felvetődött, hogy a koboldmakik ezután visszatértek az éjszakai életbe, de valami oknál fogva a tapetum újranövesztésének útja bezárult előttük. Így a fotonok összegyűjtésében azzal érték el ugyanazt az eredményt,** hogy szemüket valóban igen nagyra növesztették.

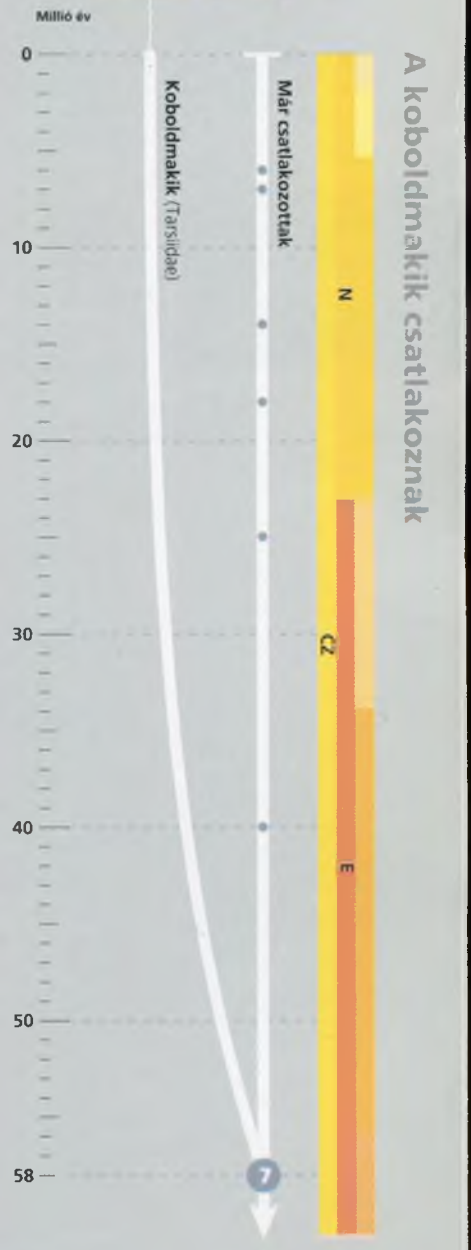
* A legtöbb éjszakai madárnak is fényvisszaverő szeme van, de az ausztráliai kecskefejő kuvikok (Aegothelidea) és a galápagosi fecskefarkú sirálynak *(Creagrus furcatus)*, a világ egyetlen éjszakai sirályának nincs.

** Ezen elmélet szerint, ha a koboldmakiknak sikerült volna újranövesztenüük a tapetumot, akkor nem lenne szükségük ekkora szemre, ami jó dolog lett volna. Az állatvilágban a legnagyobb szeme, csaknem 30 cm átmérővel az óriás tintahalnak van. Neki szintén nagyon alacsony fényerősséggel kell megbirkóznia, de ezúttal nem azért, mert éjszakai állat, hanem, mert olyan kevés fény hatol le azokba az óceáni mélységekbe, ahol él.

A KOBOLDMAKIK CSATLAKOZNAK
A legújabb morfológiai és molekuláris vizsgálatok az öt koboldmakifajt az emberszabásúak és a majmok testvércsoportjába helyezik, s nem a makikkal állnak közeli rokonságban, mint korábban vélték.

KÉP: Fülöp-szigeteki koboldmaki *(Tarsius syrichta)*





A 7. köz-ős többi leszármazottjának, a „majmoknak" és emberszabásúaknak szintén nincs tapetum lucidumjuk, ami – tekintettel arra, hogy a dél-amerikai bagolymajom kivételével valamennyien nappali állatok – nem is meglepő. A bagolymajmok pedig, akárcsak a koboldmakik, szintén nagy szemek növesztésével pótolták ezt a hiányt, habár a fejhez viszonyítva mégsem akkorával, mint a koboldmakik. Talán jó nyomon járunk, ha úgy sejtjük, hogy a 7. köz-ős sem rendelkezett tapetum lucidummal, és talán nappali életmódot folytatott. Mi egyebet mondhatunk még róla?

Attól eltekintve, hogy nappali állat volt, bizonyára hasonlított a koboldmakira. Azért állíthatjuk ezt, mert éppen a megfelelő időszakból akad néhány Omomyidaenek nevezett megbízható kövület. A 7. köz-ős valami olyasmi lehetett, mint egy omomyida, ez pedig meglehetősen hasonlíthatott a koboldmakira, bár szemei nem voltak akkorák. Ahhoz viszont elég nagyok voltak, hogy éjszakai életmódra utaljanak. Talán a 7. köz-ős az omomyida fákon élő, nappali változata lehetett. Két leszármazási vonala közül az egyik megmaradt a fényben, majd az anthropoid majmokká és emberszabásúakká fejlődött, míg a másik visszatért a sötétségbe, és a mai koboldmakikká alakult.

Szemükön kívül mit mondhatunk még a koboldmakikról? Kitűnő ugrók: lábaik olyan hosszúak, mint a békáké vagy a szöcskéké. Egy koboldmaki 3 méter messzire és 1,5 méter magasra képes ugrani, ezért is nevezték el szőrös békának. Talán nem véletlen, hogy abban is a békákra hasonlítanak, hogy alsó lábszáruk két csontját, a tibiát (a sípcsontot) és a fibulát (a szárkapocscsontot) egyetlen erős csonttá, a tibiofibulává egyesítették. Karmok helyett minden anthropoidnak körmei vannak, így a második és a harmadik lábujján lévő „ápolókarmok" kivételével a koboldmakinak is.

Semmi biztosat nem mondhatunk a 7. találkozás színhelyéről. Csak éppen megjegyezzük, hogy Észak-Amerika, amely akkoriban Grönland révén szorosan Eurázsiához csatlakozott, gazdag a megfelelő időszakból származó Omomyidae-kövületekben. Elképzelhető, hogy a 7. köz-ős észak-amerikai volt.

8. TALÁLKOZÁS
MAKIK, FÜLESMAKIK ÉS ROKONAIK

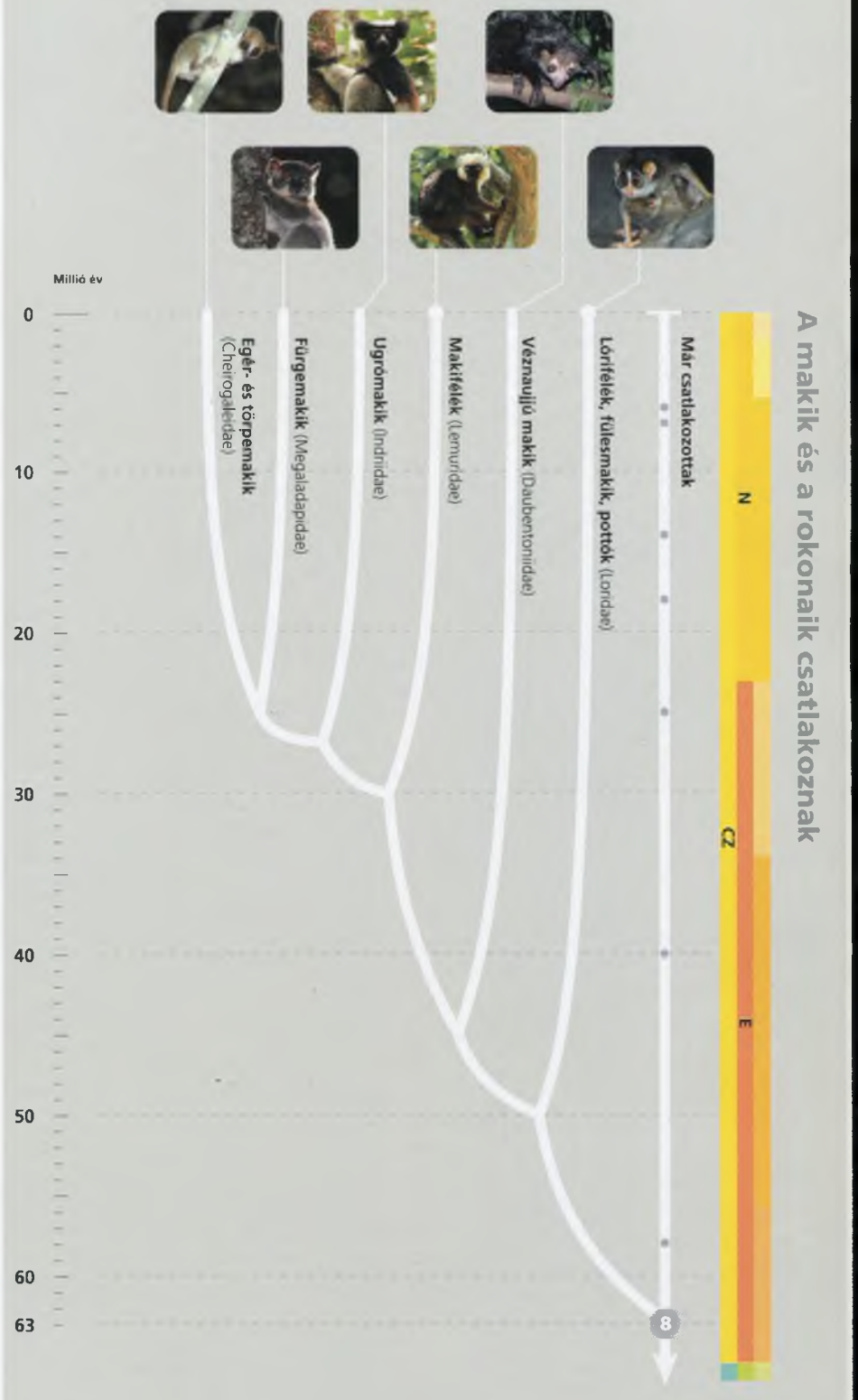
8

A kis ugró koboldmakikat zarándokseregünkbe gyűjtve indulunk vissza a 8. találkozás felé, ahol a maradék főemlősökkel, a hagyományosan félmajmoknak nevezett makikkal, pottókkal, fülesmakikkal és lórikkal találkozunk. Kell nekünk egy név azokra a „félmajmokra", amelyek nem koboldmakik. Ez a név hagyományosan a Strepsirhini, azaz orrtükrös vagy osztott orrlyukú. A név kissé zavarba ejtő. Annyit jelent, hogy orrlyukuk olyan, mint a kutyáké. A többi főemlős, minket is beleértve a Haplorhini (orrtükörnélküliek) alrendbe tartozik, tehát orrlyukaink egyszerűek: mindkettő csupán egy sima lyuk.

Mi, orrtükörnélküli zarándokok tehát a 8. találkozáson futunk össze orrtükrös unokatestvéreinkkel, amelyeknek túlnyomó többsége a makifélék közé tartozik. A találkozás időpontjára több felvetés született. Én 63 millió évvel ezelőttre teszem, amely általánosan elfogadott dátum, s így éppen csak „megelőzi" átmenetünket a kréta időszakba. Ne feledjük azonban, hogy néhány kutató szerint erre a találkozásra még korábban, magában a kréta korban került sor. Hatvanhárom millió évvel ezelőtt a Föld élővilága és éghajlata éppen életedezett abból a drasztikus felfordulásból, amellyel a kréta (és a dinoszauruszok virágkora) véget ért (lásd *A nagy kréta kori katasztrófa* című fejezetet). A világ általában csapadékos és erdős volt, az északi szárazföldek legalább egy részét viszonylag korlátozott összetételű lombhullató fenyő- és kisszámú virágos növényfajból álló növényzet borította.

Talán a faágakon bukkanunk gyümölcsöt, esetleg rovart kereső 8. köz-ősünkre. Az összes mai főemlős ezen legutóbbi közös őse megközelítőleg 7 milliomodik ősszülőnk. Azok a kövületek, amelyek segíthetnek rekonstruálni, hogyan is nézett ki 8. köz-ősünk, a Plesiadapiformes népes csoportja. Ezek körülbelül a megfelelő időszakban éltek, és sok olyan tulajdonsággal bírtak, amilyeneket elvárnánk valamennyi főemlős őseitől. Ám nem mindegyik tulajdonságuk volt ilyen, és éppen ez teszi vitássá feltételezett főemlős-ősi pozíciójukat.

A mai orrtükrösök nagy része maki, és kizárólag Madagaszkáron élnek. A következő mese róluk szól majd. A többiek két csoportra oszlanak: az ugró fülesmakikra, valamint a mászó lórikra és pottókra. Hároméves koromban Nyaszaföldön (ma Malawi) tartottunk egy fülesmakit. Percy névre hallgatott, és egy helybéli afrikai hozta be. Valószínűleg egy árván maradt növendék volt. Olyan picike volt, hogy rá tudott telepedni a whiskyspohár peremére, ahonnan az italba merítette a kezét, és látható élvezettel ivott. Napközben a fürdőszoba gerendájának alsó részén kapaszkodva aludt. Amikor beköszöntött az ő „reggelje" (vagyis az este), ha a szüleinnek nem sikerült idejében elkapniuk (ami gyakran előfordult,



A MAKIK ÉS ROKONAIK CSATLAKOZNAK
A mai főemlősök a makikra és rokonaikra, valamint a többiekre oszthatók. Különválásuk ideje vitatott – néhány szakértő mintegy 20 millió évvel korábbra teszi, ami a 9., a 10. és a 11. kőz-ős korának a felemelkedését is maga után vonja. Az öt madagaszkári maki család (harminc-egynéhány fajjal) és a lóri család (18 fajjal) orrtükrösként is ismert. Ám az orrtükrösök alrendjén belül a makik leágazásának sorrendje továbbra is vitatott.

KÉPEK BALRÓL JOBBRA:
törpe egérmaki *(Microcebus myoxinus)*; vörösfarkú fürgemaki *(Lepilemur ruficaudatus)*; indri *(Indri indri)*; fehérhomlokú barnamaki *(Eulemur fulvus albifrons)*; véznaujjú maki *(Daubentonia madagascariensis)*; karcsú lóri *(Loris tardigradus)*



mert rendkívül fürge volt, és félelmetes ugró), felszáguldott a szúnyogháló tetejére, és odafentről rám vizelt. Amikor ugrott, például rá valakire, nem gyakorolta az elterjedt fülesmakiszokást, hogy először a kezére vizel. Azon elmélet fényében, hogy a „vizeletben mosdás" szagjelzés, még érthető is lenne e hiány, hiszen még nem volt felnőtt. A másik elmélet alapján viszont, miszerint a vizelet javítja a fogást, kevésbé érthető, miért nem járt el így.

Soha nem tudom meg, hogy a fülesmakik tizennyolc faja közül Percy melyikbe tartozott, de az teljesen biztos, hogy ugró volt, és nem mászó. Az afrikai pottók és az ázsiai lórik a mászók. Ezek jóval lassabban mozognak, különösen a kelet-ázsiai „lajhármaki", amely lopakodó vadász: az ágakon araszolgatva közelíti meg a zsákmányt, s ha elérési távon belülre kerül, nagy sebességgel veti rá magát.

A fülesmakik és a pottók arra emlékeztetnek, hogy a trópusi őserdő háromdimenziós világ: olyan, mint a tenger. Fentről, a lombszőnyegből nézve a felszín zöld hullámai a láthatár felé hömpölyögnek. Merülj csak le az alanti sötétebb zöld világba, és elkülönülő szinteken haladsz át, ugyanúgy, mint a tengerben. Az erdei állatok, akár a tengeri halak, éppoly könnyedén mozognak le-föl, mint vízszintesen. Ám, megint csak a tengerhez hasonlóan, a gyakorlatban minden faj egy bizonyos szintre specializálódva szerzi meg táplálékát. A nyugat-afrikai erdőkben éjszaka a felszíni lombszőnyeg a rovarokra vadászó törpe fülesmakik és a gyümölcsevő pottók birodalma. A lombozat szintje alatt fatörzseket hézagok választják el egymástól, és ez a tűkarmú fülesmaki felségterülete, akinek névadó szerszáma lehetővé teszi, hogy miután átugrotta a köztük levő távot, megkapaszkodjék a fatörzsekben. Még lejjebb, az alsó szinten az arany pottó és közeli rokona, az angwantibo, hernyókra vadásznak. Hajnalban az éjszakai fülesmakik és pottók átadják a terepet a nappal vadászó majmoknak, amelyek hasonlóan felosztott rétegekre parcellázzák az erdőt. Ugyanez a rétegződés érvényes a dél-amerikai erdőkre, ahol az (erszényes) oposszumnak nem kevesebb, mint hét faja található, mind a saját szintjén.

A makik azoktól a korai főemlősöktől származnak, amelyek egyszer csak azon kapták magukat, hogy Madagaszkár szigetén rekedtek, éppen akkoriban, amikor Afrikában kialakultak a majmok. Madagaszkár elég nagy sziget ahhoz, hogy természetes evolúciós kísérleti laboratóriumként szolgálhasson. Madagaszkár meséjét az egyik, korántsem a legtipikusabb maki, a véznaujjú maki, vagy *Daubentonia* mondja el. Nem sokra emlékszem Harold Pusley – az előadóterem bölcs és nagy tudású csatalova – makikról szóló előadásából, amit a mi oxfordi zoológus nemzedékünknek tartott, de nagyon is emlékszem arra a visszatérő refrénre, amellyel csaknem minden, makikról szóló mondatát befejezte: „Kivéve a *Daubentoniát*. A *Daubentonia* KIVÉTELÉVEL!" A véznaujjú maki nagyon is tiszteletre méltó képviselője a makiknak, márpedig a makik a leghíresebb lakói Madagaszkár hatalmas szigetének. *A véznaujjú maki meséje* Madagaszkárról, a biogeográfiai természetes kísérlet eme tankönyvbe illő kirakatáról szól, így nem csupán a makik meséje ez, hanem egyúttal Madagaszkár egész sajátságos – a szó eredeti értelmében vett – faunájáé és flórájáé is.

8. köz-ős
A 8. köz-ős, ez a macska méretű, éjjel és talán napközben is tevékeny főemlős előremeredő szeme, valamint fogókeze és -lába kihasználásával minden bizonnyal a faágak végén kereste táplálékát. Ez a rekonstrukció egy alkonyi eurázsiai erdőbe helyezi.

A VÉZNAUJJÚ MAKI MESÉJE

Egyszer egy brit politikus a következő szavakkal jellemezte egyik vetélytársát (aki később pártvezérük lett): „valami éjszakai". A véznaujjú maki hasonló benyomást kelt, és valóban teljes mértékben éjszakai – a legnagyobb ilyen a főemlősök közül. Zavarba ejtően távol ülő szemei vannak, arca kísértetiesen sápadt. Ujjai képtelen módon hosszúak: afféle Arthur Rackham-féle* boszorkányujjak, amelyek csupán az emberi szabványok szerint „képtelenek", hiszen biztosra vehetjük, hogy hosszúságuknak jó oka van. Egy rövid ujjú véznaujjú makit megbüntetné a természetes kiválasztódás, még ha nem értenénk is, miért mondom ezt. A természetes szelekció, most, hogy a tudománynak már nem kell többé bizonygatnia az igazságát, éppen elég erős elmélet ahhoz, hogy efféle jóslatokba bocsátkozhassunk.

* Arthur Rackham neves brit gyermekkönyv-illusztrátor. *(A ford.)*



Valami éjszakai
Véznaujjú maki
(Daubentonia madagascariensis)

Egyik ujja, a középső, különleges: iszonyú hosszú és vékony, még a véznaujjú maki szintjéhez képest is. Ezt használja arra, hogy lyukat vájjon a korhadt fába, és kipiszkálja a lárvákat. A véznaujjú maki úgy szemeli ki az áldozatát, hogy ugyanezzel a hosszú ujjával ütögeti a fát, figyeli a hangszín eltéréseit, amelyek elárulják az odabent lapuló rovart.** Ám hosszú középső ujjukat nem csupán erre használják. A Duke Egyetemen, amely Madagaszkáron kívül bizonnyal a legnagyobb makigyűjteménnyel dicsekedhet, láttam egy véznaujjú makit, amint nagy élvezettel és elmélyültséggel bedugja hosszú középső ujját az orrlyukába, és keresgél, a jó ég tudja, mi után. A néhai Douglas Adams, a zoológus Mark Carwardine-nal tett utazásairól szóló útikönyvében, a *The Last Chance to See*ben (Utolsó esély, hogy lássuk) nagyszerű fejezetet szentel a véznaujjú makinak.

** Ugyanezt a szokást, ugyanilyen hosszú ujjal (csak a harmadik helyett a negyedikkel) fejlesztette ki konvergens módon egy új-guineai erszényes csoport is, a csíkos oposszum és a triok *(Dactylopsila)*. Egyébként ezek az erszényesek mintha a konvergencia bajnokai lennének. Ugyanolyan módon csíkosak, mint a bűzösborz (szkunk), s ugyancsak ez utóbbira hasonlóan védekezésül erős szagot bocsátanak ki. Lásd a 193. oldalt.

> A véznaujjú maki éjszakai állat. Rendkívül furcsa látványt nyújt, mintha úgy rakták volna össze más állatok alkatrészeiből. Kicsit úgy néz ki, mint egy denevérfülű nagy macska, hódfogakkal, olyan farokkal, mint egy nagy strucctoll, olyan középső ujjal, mint egy száraz faág és olyan hatalmas szemekkel, amelyek mintha átnéznének rajtunk egy közvetlenül a bal vállunk mögött feltáruló, teljesen más világba... Mint szinte minden egyéb, amely Madagaszkáron él, ez sem létezik másutt a Földön.

Milyen velős írás, s mily fájóan hiányoljuk szerzőjét! A *The Last Chance to See*vel Adamsnek és Carwardine-nak az volt a célja, hogy ráirányítsák a figyelmet a veszélyeztetett fajok helyzetére. A makik harminc-egynéhány fennmaradt faja egy jóval nagyobb fauna maradványát jelentik, amely mindaddig fennmaradt, amíg körülbelül kétezer éve Madagaszkárt el nem árasztották a pusztító emberek.

Madagaszkár Gondwana maradványa (lásd a 237. oldalt), amely körülbelül 165 millió éve vált el Afrikától, és mintegy 90 millió éve attól a földdarabtól, amelyből India lett. Az események ilyetén sorrendje meglepő lehet, de mint majd meglátjuk, India, mihelyt megszabadult Madagaszkártól, a lemeztektonika amúgy lórik alatti sebességszintjéhez képest szokatlanul gyorsan távolodott el.

Eltekintve a denevérektől (amelyek valószínűleg úgy repültek ide) és az ember behatolásaitól, Madagaszkár szárazföldi lakói vagy az ősi gondwanai fauna és flóra leszármazottai, vagy olyan ritka bevándorlók, amelyek valószínűtlen szerencsével máshonnan tutajoztak ide. Természetes állat- és növénykert ez, amely a világ szárazföldi növény- és állatfajai 5 százalékának ad otthont, s ezek 80 százaléka nem lelhető fel sehol másutt. A fajok e döbbenetes gazdagsága ellenére mégis figyelemre méltó, hogy mennyi főbb csoport hiányzik teljesen. Afrikával vagy Ázsiával szemben Madagaszkáron nincs őshonos antilop, nincs ló vagy zebra, nincs zsiráf vagy elefánt, nincs nyúl vagy elefántcickány, de a macska- vagy kutyafélék családjának sem akad itt egyetlen tagja sem: egyáltalán semmi a várható afrikai faunából.* A varacskos disznók nemrégiben érkeztek, s talán az ember hozta be őket. (A véznaujjú és a többi makihoz a mese végén kanyarodunk vissza.)

A manguszta családnak három, egymással egyértelműen rokon faja található meg Madagaszkáron, amelyek nyilván egyetlen, Afrikából érkezett alapító faj későbbi elágazásával alakultak ki. Ezek közül a leghíresebb a fossza, egyfajta óriásmanguszta, amely vadászkopó méretű, csak éppen igen hosszú a farka. Kisebb rokonai a falanuk és a falanoka, amelynek latin neve: *Fossa fossa* megtévesztő.**

Van egy összesen kilenc nemből álló sajátos madagaszkári rágcsálócsoport is, a Nesomyinae alcsalád. Idetartozik egy üregi óriás patkányszerűség, egy famászó, egy

* Kövületmaradványok viszont arra utalnak, hogy több vízilófaj is fennmaradt egészen a legutóbbi időkig.

**A fossza saját latin neve teljesen más, a helybéliek pedig *fiís*nak nevezik.



Egy Mars-lakó otthon érezné magát Madagaszkáron? Majomkenyérfa sugárút a madagaszkári Morondavában. Ez a majomkenyérfa-faj, a *Adansonia grandidieri* egyik a hat közül, amelyek csak Madagaszkáron honosak.

bojtos farkú „mocsári patkány" és egy ugróegérszerűség. Már régóta vitatkoznak azon, vajon ezek a sajátos madagaszkári rágcsálók egyetlen vagy több bevándorlásból származnak-e. Ha csak egy alapító volt, ez azt jelentené, hogy utódai a Madagaszkárra való érkezés óta úgy fejlődtek, hogy kitöltsék ezeket a különböző rágcsálóhézagokat (niche-eket): hamisítatlan madagaszkári történet ez. Újabb molekuláris bizonyítékok arra utalnak, hogy az afrikai szárazföld néhány rágcsálófaja közelebbi rokonságban áll némely madagaszkári rágcsálóval, mint egyes madagaszkári rágcsálók más madagaszkáriakkal. Ez több, Afrikából kiinduló bevándorlásra látszik utalni. A bizonyítékok még alaposabb vizsgálata azonban egy még ennél is meglepőbb elméletre vezet. Úgy tűnik, hogy valamennyi madagaszkári rágcsáló egy alapítótól származik, amely azonban nem Afrikából, hanem *Indiá*ból érkezett. Ha ez igaz, akkor két afrikai rágcsáló közti hasonlóság további tutajozást jeleznének Madagaszkárról Afrikába. Az afrikai fajok ősei Indiából Madagaszkáron keresztül érkeztek Afrikába. Mintha az Indiai-óceán előnyben részesítette volna a nyugati irányú tutajozást. És azt sem szabad elfelejtenünk, hogy a bevándorlás idején India közelebb lehetett Madagaszkárhoz.

A nyolc majomkenyérfa-faj közül hat csak Madagaszkárra jellemző, és 130 pálmafa-faja mellett számban eltörpülnek az összes afrikai pálmafajok. Néhány szaktekintély szerint innét származnak a kaméleonok. Annyi biztos, hogy a világ kaméleonfajainak kétharmada honos Madagaszkáron. Van egy cickányszerű, sajátos madagaszkári állatcsalád, a tanrekeké. A korábban a rovarevők rendjébe sorolt tanrekeket újabban az Afrotheria közé helyezik, amelyekkel a 13. találkozás során találkozunk. Feltehetően két alapító népességgel érkeztek Afrikából, a többi emlős előtt. Ma 27 fajra oszlanak, közülük néhány sündisznóra hasonlít, néhány a cickányokra, és egy olyan is, amely nagyrészt víz alatt él, mint a vízicickány. A hasonlóságok konvergensek – azaz, jellegzetes madagaszkári módra, függetlenül alakultak ki. Az elszigetelt Madagaszkáron nem éltek „valódi" sündisznók, sem „valódi" vízicickányok. Így a tanrekek, akik jó szerencséjük folytán helyben voltak, úgy fejlődtek, hogy a sündisznók és a vízicickányok helybéli megfelelőivé váltak.



Madagaszkár válasza az emberszabásúakra? Az indri *(Indri indri)* hangos, panaszos kiáltása több mint egy mérföldre elhallatszik.

Madagaszkáron egyáltalán nincs majom vagy emberszabású, s ez szabaddá tette a színpadot a makik előtt. Szerencsés véletlen folytán, valamivel később, mint 63 millió éve, a korai orrtükrös főemlősök egy alapító populációja utat talált Madagaszkárra. Szokás szerint fogalmunk sincs, hogy került erre sor. Az evolúciós elválás (8. találkozás, 63 millió éve) később történt, mint Madagaszkár földrajzi elkülönülése Afrikától (165 millió éve) és Indiától (88 millió éve), így nem mondhatjuk, hogy a makik ősei mindvégig Gondwanán gubbasztó őslakók voltak. A „tutajozás" kifejezést könyvem több helyén is rövidítésként használtam a következő értelemben: „jelentős statisztikai valószínűtlenséggel bíró, szerencsés tengeri átkelés, vala-

mely ismeretlen eszközzel, amelynek csak egyszer kellett megtörténnie, de amelynek legalább egyszer mindenképp meg kellett történnie, mert látjuk a következményeit". Meg kell jegyeznem, hogy a „jelentős statisztikai valószínűtlenséggel bíró" kifejezést a formalitás kedvéért tettem hozzá. A tény az, miként azt a 6. találkozás során láttuk, hogy a „tutajozás" ebben az általános értelemben gyakoribb, mintsem gondolnánk. Ennek klasszikus példája a Krakatau maradványainak gyors újbóli benépesülése azt követően, hogy egy vulkáni katasztrófában hirtelen elpusztult.*

Madagaszkáron a szerencsés tutajozás következményei drámaiak és elragadóak voltak: kisebb-nagyobb makik, mindenféle méretben, a hörcsögnél is kisebb törpe egérmakitól a nemrég kihalt *Archaeoindris*ig, amely súlyosabb volt, mint egy ezüsthátú gorilla, és úgy nézett ki, mint egy medve; aztán az ismerős makik, mint a gyűrűsfarkú, amelynek hosszú, csíkos, szőrös hernyóra emlékeztető farka csak úgy lobog a légben, amint a csapat végigszáguld a földön; vagy az indri; vagy a táncoló szifaka, amely utánunk a két lábon járást talán a leginkább elsajátított főemlős.

No és persze itt van a véznaujjú maki, történetünk mesélője. A világ szomorúbb hely lesz, ha – amitől félek – a véznaujjú maki kihal. Ám egy Madagaszkár nélküli világ nem csupán szomorúbb, hanem kifosztott is lenne. Ha eltörölnénk Madagaszkárt, a világ összes szárazföldjének csupán egyezredét pusztítanánk el, de valamennyi állat- és növényfajának kerek 4 százalékát.

Egy biológus számra Madagaszkár a Boldogok Szigete. Zarándokutunkon ez az első azon öt nagy – némely esetben valóban igen nagy – sziget közül, melyek elszigetelődése a földtörténetben elfoglalt döntő fordulópontokon gyökeres alakító hatással bírt az emlősök változatosságára. De nem csupán az emlősökére. Valami hasonló történik a rovarokkal, madarakkal, növényekkel és halakkal is. Amint még távolibb zarándokok csapódnak hozzánk, más, hasonló szerepet játszó szigetekkel is találkozunk – nem mindegyikük lesz szárazföld. *A bölcsőszájú hal meséje* meggyőz bennünket arról, hogy minden egyes afrikai nagy tó önmagában is egy-egy vízi Madagaszkár, amelyeknek a bölcsőszájú halak a makijai.

Látogatásunk sorrendjében az emlősök evolúcióját alakító szigetek vagy sziget-kontinensek a következők: Madagaszkár, Laurázsia (a nagy északi kontinens, amely hajdan különvált déli megfelelőjétől, Gondwanától), Dél-Amerika, Afrika és Ausztrália. Magát Gondwanát is feltehetnénk a listára, mert, miként majd meglátjuk a 15. találkozáson, mielőtt felbomlott volna déli féltekénk kontinenseire, ez is kinevelte a maga sajátos faunáját. *A véznaujjú maki meséje* bemutatta nekünk Madagaszkár állat- és növényvilágának különcségeit. Laurázsia az őshazája és darwinista próbaköve a zarándokok azon hatalmas áradatának, amelyekkel majd a 11. találkozás során találkozunk: a laurázsiaiaknak. A 12. találkozáson egy furcsa zarándokcsoport csapódik hozzánk, a vendégízületesek, akik evolúciós tanoncidejüket az akkori sziget-kontinensen, Dél-Amerikán töltötték ki, s amelyek majd elmondják azoknak a történetét is, amelyekkel osztoztak rajta. A 13. találkozáson az afrikaiakat találjuk, az emlősök egy másik roppant változatos csoportját, akiknek változatosságát Afrika sziget-kontinense nevelgette. Aztán a 14. találkozáson Ausztrália és az erszényesek következnek. Madagaszkár az a mikrokozmosz, amely a példát szolgáltatja – elég nagy ahhoz, hogy példa legyen, de elég kicsi ahhoz, hogy példás világossággal szemléltessen.

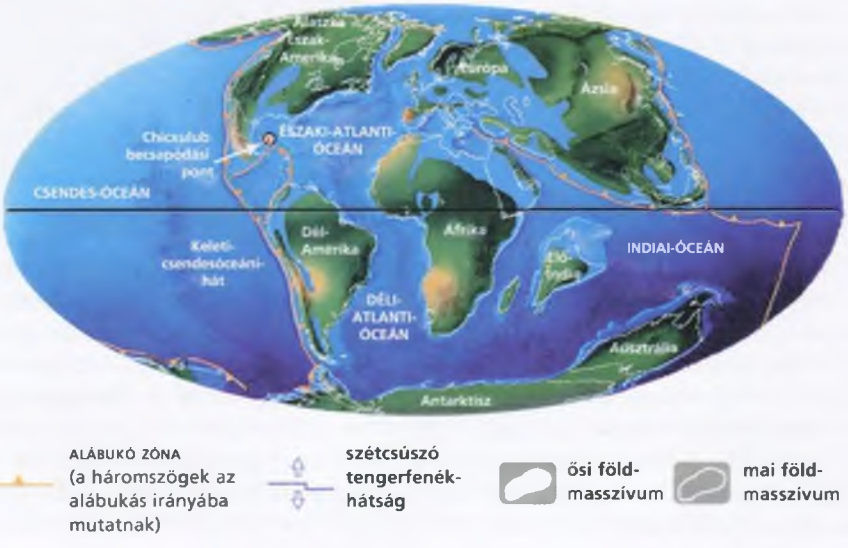
* Nagyszerű leírást olvashatunk erről E. O. Wilson *The Diversity of Life* (A változatos élet) című könyvében.

A NAGY KRÉTA KORI KATASZTRÓFA

A 8. találkozás, ahol zarándokaink a makikat üdvözlik 63 millió évvel ezelőtt, az utolsó találkozásunk, „mielőtt" visszautunkon átkelnénk a 65 millió éves gáton, az úgynevezett K/T határon, amely elválasztja az emlősök korát az azt megelőző, jóval hosszabb dinoszaurusz kortól.* A K/T az emlősök sorsának vízválasztója volt. Korábban kicsi, cickányszerű lények, éjszakai rovarevők voltak. Evolúciós gazdagságuk több mint 100 millió éven át nyögte a hüllők hegemóniájának súlyát. Ám a nyomás hirtelen megszűnt, és geológiai mércével igen rövid idő alatt ama cickányok utódai elterjedtek, és kitöltötték a dinoszauruszok által elhagyott ökológiai helyeket.

Mi okozta magát a katasztrófát? A kérdés vitatott. Akkoriban élénk vulkanikus tevékenység zajlott Indiában, s a kiköpött lávafolyamok több mint egymillió négyzetkilométernyi területet borítottak el (a „Dekkán katlanokat"). Ez bizonyára gyökeres hatást gyakorolt az éghajlatra. Különféle bizonyítékok azonban lassan arra a közmegegyezésre vezetnek, hogy a halálos csapás ennél gyorsabban és pusztítóbban érkezett. Úgy tűnik, egy űrből jövő lövedék – egy nagy meteorit vagy üstökös – találta el a Földet. A nyomozók köztudottan cigarettahamuból és lábnyomokból rekonstruálják az eseményeket. Esetünkben a hamu az irídium elem, szerte a világ-

* A K/T a kréta–harmadkor (tercier) rövidítése. A „kréta" szó a latin *creta* megfelelője. A „harmadkor" (tercier) mára már idejétmúlt elnevezési rendszerhez tartozik, s a kainozoikum első öt korszakát fogta át. A határt manapság kréta–paleocén határnak nevezik (lásd a földtörténeti táblázatot az *Általános bevezetőben*). A „K/T" rövidítés azonban ma is gyakran használatos, ezért magam is élek vele.



A Föld a K/T kihalás idején [257]. A Chicxulub tűzgömb becsapódásának helyét nyíl jelzi. A kréta kor végére Laurázsia és Gondwana már a nagyjából ma ismert kontinentális alakzatokra szakadoztak, bár Európa még csak egy nagy sziget volt, a Madagaszkártól elszakadt India pedig gyors ütemben haladt Ázsia felé. Az éghajlat meleg volt és enyhe, még a sarki térségekben is, mint végig az egész mezozoikumban, ami részben a meleg óceáni áramlásoknak volt köszönhető.

gon, pontosan a megfelelő geológiai rétegben. Az irídium rendesen ritka a földkéregben, de gyakori a meteoritokban. A szóban forgó becsapódás bizonyára elporította az érkező tűzgolyót, és maradványait por alakban szétszórta a légkörben, amelyből alkalmasint az esővel együtt lekerült a földfelszínre. A 160 kilométer széles, 48 kilométer mély lábnyom egy titáni becsapódáskráter, a Chicxulub a mexikói Yucatán-félsziget csúcsán. A helyszínt nyíl jelzi a szemközti térképünkön, amely egyúttal feltünteti a kontinensek, óceánok és sekély tengerek korabeli helyzetét is.

A világűr tele van mozgó tárgyakkal, amelyek mindenféle irányban és egymáshoz képest igen eltérő sebességgel haladnak. A tárgyak legtöbbje a Földhöz képest inkább gyorsabb, mint lassabb. Így a legtöbb tárgy, amelyik bolygónknak ütközik, valóban igen gyorsan halad. Szerencsére többségük kicsi, és légkörünkben elégnek, mint „hulló csillagok". Némelyikük elég nagy ahhoz, hogy egészen bolygónk felszínéig megtartson némi szilárd tömeget. És néhány tízmillió évente egyszer egyikük nagyon nagy katasztrófát okozva összeütközik velünk. A Földhöz képest viszonylag nagy sebességük következtében ezek a szilárd testek az összeütközéskor elképzelhetetlenül nagy mennyiségű energiát szabadítanak föl. Egy puskagolyó ütötte seb a golyó sebessége miatt forró. Egy becsapódó meteorit vagy üstökös valószínűleg még a nagy sebességű puskagolyónál is gyorsabb. Egy puskagolyó csak grammokat nyom, ám a kréta kornak véget vető égi lövedék, amely elpusztította a dinoszauruszokat, gigatonnákban mérhető. A becsapódás hangja, amely ezer kilométer óránkénti sebességgel viharzott végig a Földön, feltehetően megsüketített minden olyan élőlényt, amelyet nem sütött meg a robbanás, nem fulladt meg a légsokktól, nem nyelte el a szó szerint forró tengeren végigsöprő 150 méteres cunami, vagy nem zúzta porrá a valaha is feljegyzettnél ezerszer erősebb földrengés. És ez csak a közvetlen kataklizma volt. Ezután jöttek a következmények: a globális erdőtüzek, a napot eltakaró füst, por és hamu, amelyek kétéves nukleáris telet okozva elpusztították a legtöbb növényt, és halálos véget vetettek a világ táplálkozási láncolatának.

Nem csoda, hogy a madarak nevezetes kivételével valamennyi dinoszaurusz elpusztult – s velük együtt a többi fajoknak is mintegy fele, különösen a tengerlakók.* A csoda az, hogy egyáltalán bármilyen életforma túléli ezeket a kataklizmaszerű látogatásokat. Egyébként az, amelyik véget vetett a kréta kornak és a dinoszauruszoknak, nem a legnagyobb – ez a megtiszteltetés annak a tömeges kihalásnak jut, amely körülbelül negyedmilliárd évvel ezelőtt a perm időszak végét jelzi, és amelyben az összes fajok 95 százaléka pusztult ki. Újabb bizonyítékok arra utalnak, hogy egy még nagyobb üstökös vagy meteorit volt a felelős e minden kihalások anyjáért. Nyugtalanul vesszük tudomásul, hogy bármelyik pillanatban hasonló katasztrófa sújthat bennünket. Ellentétben a kréta kori dinoszauruszokkal vagy a permi (emlősszerű) pelycoszauruszokkal, nekünk a csillagászok adnának néhány év vagy legalább néhány hónap „haladékot". Ám ebben sem lenne sok köszönet, hiszen mai technológiánkkal semmit sem tehetnénk megakadályozására. Szerencsére annak esélye, hogy ez valamely meghatározott személy életében a normál biztosítási matematikai szabványok szerint bekövetkezzék, elhanyagolható. Ugyanakkor annak esélye, hogy *némely* szerencsétlen személy életében bekövetkezzék, csaknem biztos. A biztosítótársaságok egyszerűen nem szoktak ennyire előre gondolkodni. Az érintett szerencsétlen egyének viszont valószínűleg nem emberek lesznek, mert a statisztikai valószínűség szerint mi addigra már kihalunk.

* Erős a kísértés arra, hogy a katasztrófában furcsa szelekció megnyilvánulását lássuk. A mélytengeri Foraminifera (parányi kagylókban lévő protozoónok, melyeknek fosszíliái roppant mennyiségben maradtak fenn, s így a geológusok indikátor fajként használják) maradványai csaknem teljesen megkímélődtek.

Ésszerű felvetés, hogy az emberiségnek máris el kellene kezdenie azoknak a védekezési eljárásoknak a kifejlesztését, amelyekkel a technológia felhozható olyan szintre, hogy ha elhangzana egy szavahihető figyelmeztetés, akkor volna még idő a lépések megtételére. A jelenlegi technológia csupán a hatás csökkentésére alkalmas, a megfelelően összeállított magvak, háziállatok, gépek, köztük számítógépek és kulturális bölcsességgel telített adatállományok föld alatti elraktározásával, no persze, kiváltságos emberi lények kíséretében (és máris *itt* a politikai probléma). A katasztrófa elkerülésére jobb lenne olyan, ma még csupán megálmodott technológiákat kifejleszteni, amelyekkel eltérítenénk vagy elpusztítanánk a betolakodót. Azok a politikusok, akik azért találják ki a külső hatalmak általi fenyegetést, hogy gazdasági vagy szavazói támogatást szerezzenek maguknak, rájöhetnének, hogy egy összeütközéssel fenyegető meteorit ürügyként éppúgy megteszi nemtelen céljukra, mint a Gonosz Birodalma, a Gonoszság Tengelye vagy a „terror" még kisiskolásabb absztrakciója, ráadásul még azzal az előnnyel is bírna, hogy inkább nemzetközi összetartásra, semmint széthúzásra buzdítana. Maga a technológia hasonlít a legmodernebb „csillagháborús" fegyverzetekhez és magának a világűr feltárásának az arzenáljához. Annak a tömeges felismerésnek, hogy az emberiség egészének közös az ellensége, hihetetlen előnyei lennének, mert inkább egybeforrasztana, s nem szétválasztana bennünket, mint manapság.

Minthogy létezünk, őseink nyilvánvalóan átélték a permi, majd később a krétai kihalást. Mindkét katasztrófa, ahogy a többi megtörtént is, bizonyára rendkívül kellemetlenül érintette őket, és csak összeszorított fogakkal élték túl, valószínűleg süketen és vakon, de azért szaporodásra képesen – különben nem lennénk itt. Talán hibernálódtak egy időre, és nem ébredtek föl, csak a nukleáris télnek – az efféle katasztrófák feltételezett velejárójának – az elmúltával. És azután, az evolúciós idő beteltével, learatták a termést. A krétai túlélők esetében nem volt több dinoszaurusz, hogy megegye őket, vagy akikkel versenyezzenek. Eszünkbe juthat, hogy volt ennek egy árnyoldala is: ők sem tudtak dinoszauruszt enni. Ám csak kevés emlős volt elég nagy, és csak kevés dinoszaurusz volt túl kicsi ahhoz, hogy ez nagy veszteség legyen. Kétség nem fér hozzá, hogy az emlősök tömeges virágzásnak indultak a K/T után, ám e virágzás formája, és hogy miképp kapcsolódik ez találkahelyünkhöz, vitatott. Három „modell" vetődött föl, s most elérkezett az ideje, hogy megtárgyaljuk ezeket. A három átfedi egymást, s csak az egyszerűség kedvéért mutatom be őket szélsőséges formájukban. A világosság kedvéért úgy vélem, megváltoztatom bevett nevüket a következőképp: Nagy Durr Modell, Késleltetett Robbanási Modell és a Nem-robbanó Modell. Ezzel kapcsolatban kitapinthatók párhuzamok az úgynevezett Kambriumi Robbanásról folytatott vitával, amelyet *A bársonyféreg meséjé*ben tárgyalunk majd.

1. A Nagy Durr Modell szélsőséges változatában egyetlen emlősfaj élte túl a K/T katasztrófát, egyfajta Paleocén Noé. Ennek a Noénak a leszármazottai a katasztrófa után közvetlenül szaporodni és sokasodni kezdtek. A Nagy Durr Modellben a találkozáspontok többsége egy kupacban bukkant fel a K/T határ innenső oldalán – hátrafelé nézve Noé leszármazottainak gyorsan szétágazó családfáit.
2. A Késleltetett Robbanási Modell elismeri, hogy a K/T határt követően robbanásszerűen nőtt az emlősök diverzitása (sokfélesége). Ám a robbanás emlősei nem egyetlen Noétól származtak, és az emlős zarándokok közti legtöbb találkozás megelőzte a

K/T határt. Amikor a dinoszauruszok hirtelen távoztak a színről, számos kis túlélő cickányszerű ág létezett, amelyek beleléptek a dinoszauruszok cipőjébe. Az egyik „cickányból" fejlődtek ki a ragadozók, a másikból a főemlősök és így tovább. Ezek a különféle „cickányok" talán hasonlítottak egymásra, külön leszármazásuk mégis a távoli múltba nyúlik, hogy végül a dinoszauruszok kora előtt egyesüljön. Ezek az ősök egymással párhuzamosan követték jövőbe vezető, hosszú gyújtózsinórjaikat a dinoszauruszok korán át a K/T határig. Ekkor a dinoszauruszok eltűnésével, többé-kevésbé egyidejűleg robbant ki sokféleségük. Következésképpen a mai emlősök köz-ősei jóval megelőzik a K/T határt, bár küllemben és életmódban csak a dinoszauruszok halála után kezdtek eltérni egymástól.

3. A Nem-robbanó Modell szerint a K/T határ egyáltalán nem jelez semmiféle éles szakadást az emlősök diverzitásának evolúciójában. Az emlősök egyre csak sokasodtak, és ez a folyamat nagyjából ugyanúgy zajlott a K/T határ előtt, mint azt követően. A Késleltetett Robbanási Modellhez hasonlóan a mai emlősök köz-ősei megelőzik a K/T határt. Ám ebben a modellben mire a dinoszauruszok eltűntek, már jelentősen eltértek egymástól.

A három modell közül a bizonyítékok – különösen a molekulárisak, de egyre inkább a fosszilis bizonyítékok is – a Késleltetett Robbanási Modellnek látszanak kedvezni. Az emlőscsaládfák elágazásainak többsége messze visszanyúlik a dinoszauruszok korába. Ám a dinoszauruszokkal együtt élő emlősök többsége meglehetősen hasonlított egymásra, és ilyenek is maradtak mindaddig, amíg a dinoszauruszok távozása fel nem szabadította őket, hogy berobbanjanak az emlősök korába. Azon fő ágak közül néhány nem sokat változott e korai idők óta, tehát annak ellenére is hasonlítanak egymásra, hogy valamennyiük közös őse rendkívül régi. Az eurázsiai cickányok és a tanrek cickányok például szerfölött hasonlítanak, és feltehetően nem azért, mert különböző kiindulópontból tartottak egymás felé, hanem mert alig változtak azon ősidők óta. Közös ősükről, a 13. köz-ősről úgy véljük, hogy mintegy 105 millió éve élt, azaz csaknem annyival a K/T határ előtt, mint amennyi idő a K/T határ óta máig eltelt.

9. TALÁLKOZÁS
REPÜLŐMAKIK ÉS MÓKUSCICKÁNYOK

9

A 9. találkozásra 60 millió évvel ezelőtt, a dinoszauruszok korában kerül sor, még mielőtt az emlősök virágzása igazából megindult volna. Éppenséggel a virágok virágzása is épphogy csak elkezdődött. A virágos növények, bármilyen sokfélék voltak is, korábban olyan felbolygatott élőhelyekre korlátozódtak, amelyeket feldúltak a behemót dinoszauruszok vagy elemésztett a tűz, de mostanra fokozatosan kifejlődtek annyira, hogy már magukban foglaltak egy sor lombos erdei fát és a lombkorona szintje alatti cserjét is. A 9. köz-ős, nagyjából a 10 milliomodik ősszülőnk, velünk együtt két mókusszerű emlőscsoportnak is a közös őse volt. Vagyis csak az egyik volt mókusszerű, a másik inkább a repülőmókusra hasonlított. Közülük kerül ki a mókuscickányok 18 és a repülőmakik 2 faja, valamennyien Délkelet-Ázsiából.

A Tupaiidae családba tartozó mókuscickányok mind rendkívül hasonlítanak egymásra. A legtöbb mókuscickány úgy él, mint a mókusok: fákon, és némely faj még abban is a mókusokra üt, hogy hosszú, bozontos, aerodinamikus farkuk van. A hasonlóság azonban felszínes. A mókusok rágcsálók. A mókuscickányok viszont biztosan nem rágcsálók. De hogy mik is valójában, nos, részben erről szól a következő mese. Mókusok vajon, ahogy köznevük sejteti? Netán főemlősök, ahogy némely szaktekintély már régóta gondolja? Vagy valami egészen mások? A gyakorlatias megoldás az volt, hogy saját, bizonytalanul meghatározott emlősrendjükbe, a Scandentiába helyezték el őket (a latin *scandere* annyit jelent: 'mászni'). Ám a köz-őst keresve nem kerülhetjük meg a problémát ilyen könnyedén. *A repülőmaki meséje* kifejti igazolásomat – vagy mentegetőzésemet? –, amiért azzal a megoldással éltem, hogy egyesítettem a repülőmakikat és a mókuscickányokat, „mielőtt" csatlakoztak volna zarándoklatunkhoz.

A repülőmakik már régóta ezen a néven ismertek, mintegy sugalmazva a nyilvánvaló verdiktet: nem repülnek, és nem is makik. A legújabb bizonyítékok alapján közelebb állnak a makikhoz, mint ahogy azt maguk a téves névadók sejtették. És, bár nem izomerővel repülnek, mint a denevérek vagy a madarak, viszont ügyes vitorlázók. Két fajuk, a Fülöp-szigeteki *Cynocephalus volans* és a malajziai *C. variegatus* külön rendbe, a Dermopterába tartozik, mely név annyit jelent: 'bőrszárnyak'. Az amerikai és eurázsiai repülőmókusokhoz, a távolabbi rokon afrikai pikkelyesfarkú mókusokhoz, valamint az ausztráliai és új-guineai erszényes vitorlázókhoz hasonlóan a repülőmakiknak is egyetlen nagy bőrlebenyük van, a patagium, amely egyfajta irányítható ejtőernyőként működik. A többi vitorlázótól eltérően a repülőmaki patagiuma kiterjed a farokra és a végtagokra is, és közvetlenül a kéz- és lábujjak csúcsára feszül. A repülőmakik „szárnyának" 70 centiméteres fesztávolsága egyúttal a legnagyobb az említett vitorlázók között. A repülőmakik képesek 70 mé-

A REPÜLŐMAKIK ÉS A MÓKUSCICKÁNYOK CSATLAKOZNAK
Ez a könyvben említett egyik legbizonytalanabb leszármazási vonal (lásd *A repülőmaki meséjét*). Az itt bemutatott sémát, amely a mókuscickányok 16 faját és a két repülőmaki-fajt a főemlősök testvér csoportjaként tünteti föl, néhány molekuláris taxonómus támogatja. Ennek és a következő találkozásnak az időpontja nem egyértelműen tisztázott.

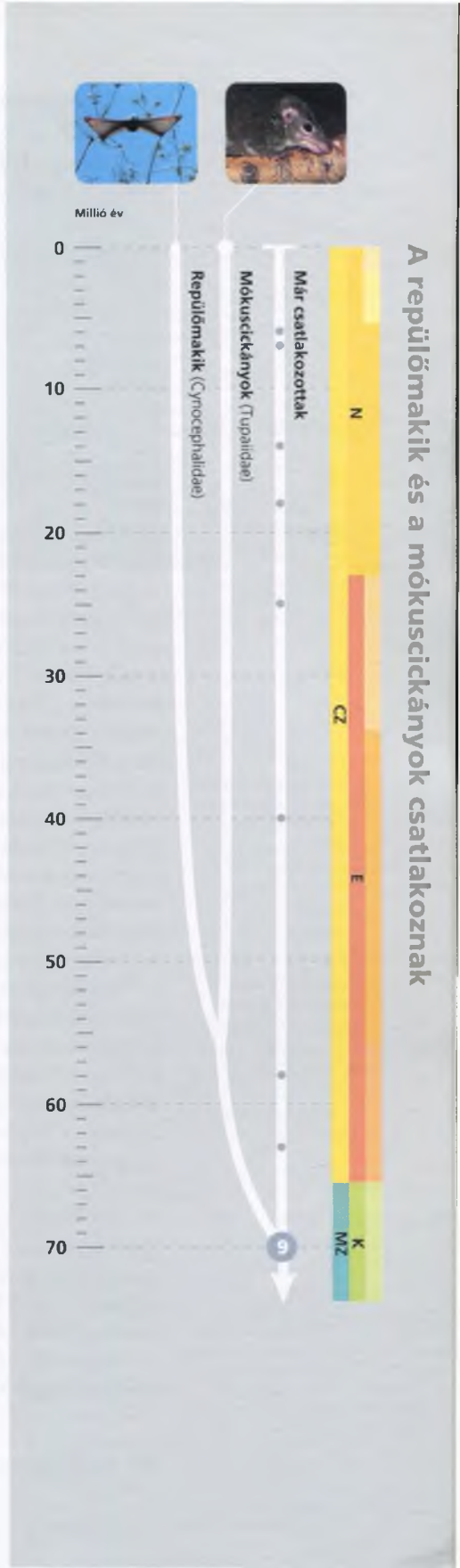
KÉPEK: maláj repülőmaki *(Cynocephalus variegatus)*; északi mókuscickány *(Tupaia belangeri)*

tert is vitorlázni az éjszakai erdőn át úgy, hogy alig veszítenek a magasságukból.

Az, hogy a patagium közvetlenül a farok, valamint a láb- és kézujjak csúcsára feszül, arra utal, hogy a repülőmakik sokkal inkább kötődnek a vitorlázó életmódhoz, mint a többi vitorlázó emlős. Mi tagadás: a földön meglehetősen ügyetlenek. Ezt viszont jócskán kárpótolják a levegőben, ahol hatalmas siklóernyőiknek köszönhetően nagy sebességgel szelnek át derekas távokat az erdőben. E teljesítmény jó sztereoszkopikus látást követel meg, amely éjszaka pontosan, a végzetes ütközéseket kerülve, a célba vett fa felé kormányoz, és ott pontos leszállást biztosít. És valóban: hatalmas, sztereoszkopikus szemeik vannak, amelyekkel kitűnően látnak éjszaka.

A repülőmakik és a mókuscickányok szaporodási rendszere rendkívül szokatlan, és egymástól is eltérő irányt képviselnek. A repülőmakik abban hasonlítanak az erszényesekhez, hogy kicsinyeiket igen korai embrionális fejlődési stádiumban hozzák a világra. Minthogy erszényük nincs, az anya a patagiumot állítja szolgálatba. A patagium farokrészét rögtönzött erszényt képezve előrehajtja, és ebben foglal helyet a (rendszerint egyke) kicsi. Az anya gyakran lajhár módra lefelé lóg az ágról, és ilyenkor a patagium úgy fest, és a kicsinek úgy is szolgál, mint egy függőágy.

A meleg, prémes függőágyból kipislogó repülőmaki kicsinyeknek láthatóan jó soruk van. A mókuscickány kicsinyek viszont talán kevesebb anyai törődésben részesülnek, mint a többi emlős csemete. A mókuscickány anyáknak, legalábbis több fajuknál, két fészkük van: egyikben maga az anya lakik, míg a kicsinyeket a másikba helyezi el. Csak etetés céljából keresi fel őket, akkor is mindössze 5–10 perc erejéig, a lehető legrövidebb időtartamra. És e rövidke etetésre is mindössze 48 óránként egyszer kerít sort. Időközben, minthogy nincs melegen tartó anyjuk, a kis mókuscickányoknak a táplálékukból kell melegíteni magukat. Emiatt viszont az anya teje kivételesen gazdag.



A mókuscickányok és a repülőmakik egymáshoz és a többi emlőshöz való rokonsága vita és kétség tárgya. Ebben a tényben is tanulság rejlik, s éppen ez derül ki *A repülőmaki meséjé*ből.

A repülőmaki meséje

A repülőmakitól szép mesét hallhatnánk éjszakai vitorlázásokról a délkelet-ázsiai erdőkben, ám zarándoklatunk céljára van egy ennél földhözragadtabb története is, mely figyelmeztető tanulságot rejt. Arra figyelmeztet, hogy köz-ősökről és találkozóhelyekről, valamint arról szóló, látszólag takaros történetünk, milyen sorrendben csatlakoznak hozzánk a zarándokok, az új kutatások előrehaladtával komoly ellentmondásokkal és felülvizsgálatokkal terhes. A 9. találkozás leszármazási diagramja egy újabb nézetet tükröz. E nézet szerint, amelyet itt feltételesen magam is elfogadok, azok a zarándokok, amelyeket a 9. találkozáson köszöntünk, a repülőmakik és a mókuscickányok már egy korábban egyesült társaságából tevődnek össze. Néhány évvel ezelőtt a repülőmakik még nem léptek volna be ebbe a képbe. Az ortodox taxonómusok csak a mókuscickányoknak engedték volna meg, hogy ezen a találkozóhelyen csatlakozzanak a főemlősökhöz: a repülőmakik az úton odébb társultak volna, s nem is túl közel.

Nincs garancia arra, hogy jelenlegi képünk változatlan marad. Egy új bizonyíték feltámaszthatja korábbi nézetünket, vagy teljesen eltérőt követelhet meg. Némely kutató még azt is felveti, hogy a repülőmakik közelebb állnak a főemlősökhöz, mint a mókuscickányok. Ha igazuk van, akkor a 9. találkozáson a repülőmakik csatlakoznak hozzánk, főemlősökhöz, a mókuscickányra pedig a 10. találkozásig kellene várnunk, és attól kezdve a köz-ősök számozását eggyel fel kellene emelni. Én azonban nem ezt a nézetet tettem magamévá. A kétely és a bizonytalanság bizony elég sovány tanulságnak tűnik egy mesétől, ám ez a tanulság olyan fontos, amit fel kell vennünk a fedélzetre, mielőtt múltba vezető zarándoklatunk továbbhaladna, hisz sok más találkozásra is vonatkozik.

Bizonytalanságomat a leszármazási fán jelezhettem volna többágú elágazással (azaz politómiával, lásd *A gibbon meséjét*). Ezt a megoldást választotta némely szerző, így Colin Tudge is a földi élet származásáról szóló mesteri összegzésében, a *The Variety of Life*-ban (A változatos élet). Ám ha politómia fordul elő némely ágon, fennáll annak kockázata, hogy tévesen bízunk a többiben. Az emlősrendszerezés forradalma, amely bevonta a képbe a laurázsiaiakat és az afrikaiakat (11–13. találkozások), Tudge könyvének megjelenése után, 2000-ben tört ki, így némely általa megoldottnak vélt besorolást mára már módosítottak. Nagy valószínűséggel ez a könyv is így fog járni, és nem csupán a repülőmakikkal és a mókuscickányokkal kapcsolatban. A koboldmaki (7. találkozás) pozíciója, valamint az orsóhalak és nyálkahalak csoportosítása szintén bizonytalan. Az Afrotheria (13. találkozás) és a bojtosúszós hal (19. találkozás) kapcsolatai még mindig kissé kétségesek. Talán a csalánozókhoz és bordás medúzákhoz rendelt találkozásainkat (28. és 29. találkozások) is rossz helyen keressük.

Más találkozásaink, például az orangutánnal, a lehető legpontosabbak, és sok egyéb is ebbe a szerencsés kategóriába esik. Akad néhány határeset is. Így ahelyett,



Mélyen elkötelezettek a repülő életmód mellett
Maláj repülőmaki
(Cynocephalus variegatus)

hogy csaknem szubjektív ítélettel nyilatkoznék arról, melyik csoport érdemel teljesen kibogozott fát, és melyik nem, a 2004-es karóhoz cövekelem többé-kevésbé bizonytalan álláspontomat, s kitartok mellette, miközben ahol csak szerét ejthetem, a szövegben hangot adok kételyeimnek (eltekintve a 37. találkozástól, ahol a besorolás annyira bizonytalan, hogy még a szakértők sem hajlandók vállalni a tippelés kockázatát). Attól félek, az idők teltével némely (de remélem, viszonylag kevés) találkozóhelyemről és leszármazási vonalairól kiderül, hogy az új tapasztalatok fényében tévesek voltak.*

Az evolúciós szabványhoz nem kötött korábbi taxonómiai rendszerek annyiban vitathatók, amennyire az ízlés vagy a vélemény vitatható. Egy taxonómus érvelhet úgy, hogy múzeumi példányok kiállításának megkönnyítése kedvéért a mókuscickányokat a mókusokkal, a repülőmakikat a repülő mókusokkal együtt kell bemutatni. Az efféle véleményekben nincs abszolút helyes megoldás. A leszármazásra épülő taxonómia, amit ez a könyv követ, más. Igenis létezik egy pontos életfa, csak még nem tudjuk, melyik is az.** Van még tere az emberi véleménynek, de ez a vélemény olyasmiről szól, ami végül vitathatatlan igazságnak bizonyul. Csupán azért vagyunk bizonytalanok eme igazság mibenlétével kapcsolatban, mert még nem vizsgáltunk meg elegendő – elsősorban molekuláris – részletet. Az igazság valóban ott lóg a levegőben, és felfedezésre vár. Ugyanez nem mondható el az ízlésről vagy a kiállítási célszerűségről alkotott véleményekről.

* Tévesen idéző teremtéshívők figyelmébe: Kérem, ne idézzék ezt annak érzékeltetésére, hogy „az evolucionisták nem tudnak semmiben egyetérteni", amivel azt sugalmaznák, hogy az egész háttérelméletet a sutba kell vetni.

** Azzal a kis fenntartással, hogy ez a fa valójában a génfák közti többségi megállapodás eredménye lesz, miként azt *A gibbon meséjének* utolsó bekezdéseiben kifejtettem.

10. TALÁLKOZÁS
RÁGCSÁLÓK ÉS NYÚLFÉLÉK

10

SZEMKÖZTI OLDAL
A RÁGCSÁLÓK ÉS A NYÚLFÉLÉK CSATLAKOZNAK
Általában elfogadott, hogy a 70 egynéhány nyúlfaj és a kb. 2000 rágcsáló (kétharmada az egerek családjának tagja) összetartozik. A legújabb genetikai vizsgálatok ezt a csoportot a főemlősök, a repülőmakik és a mókuscickányok testvércsoportjaként határozzák meg. A rágcsálókon belüli elágazási sorrend bizonyos részei még nem tisztázottak, de az itt bemutatott leszármazási vonalakat a legtöbb molekuláris adat alátámasztja.

KÉPEK BALRÓL JOBBRA:
vizidisznó vagy kapibara *(Hydrochaeris hydrochaeris)*; fokföldi vakondpatkány *(Georychus capensis)*; szavannasül *(Hystrix africaeaustralis)*; közönséges mókus *(Sciurus vulgaris)*; közönséges pele *(Muscardinus avellanarius)*; ugrónyúl *(Pedetes capensis)*; eurázsiai hód *(Castor fiber)*; vöröshátú erdeipocok *(Clethrionomys glareolus)*; északi nyíregér *(Sicista betulina)*; sarki nyúl *(Lepus arcticus)*; amerikai pocoknyúl *(Ochotona princeps)*.

A 10. találkozásra 75 millió évnyire kerül sor utunkon. Zarándokainkhoz itt csatlakozik a rágcsálók hemzsegő, rohanó, rágó, bajuszremegtető – talán kissé túlzsúfolt – serege. A pontosság kedvéért ezen a ponton találkozunk a házi nyulakkal, a nagyon hasonló mezei nyulakkal, az észak-amerikai nyulakkal és a távolabbi pocoknyulakkal. Korábban a nyulakat is a rágcsálók közé sorolták, mivel nekik is igen kiálló rágófogaik vannak elöl, mi több, egy többletpárral még felül is múlják a rágcsálókat. Később különválasztották őket, és most külön rendjükbe, a Lagomorphába tartoznak, szemben a Rodentiával. Ám a modern szerzők a nyúlalakúakat a rágcsálókkal együtt egy „rajba", a Glires nevűbe sorolják. Könyvem fogalmai szerint a nyúlalakú és a rágcsáló zarándokok már „azelőtt" egyesültek, hogy seregük csatlakozott volna zarándoklatunkhoz. A 15. köz-ős megközelítőleg a 15 milliomodik ősszülőnk. Ez az utolsó olyan közös ős, amellyel közösen osztozunk az egerekkel, bár az egerek – a rövid nemzedéki időszakok miatt – jóval nagyobb számú őssel kötődnek hozzá.

Az emlősvilágban a rágcsálók dicsekedhetnek az egyik nagy sikertörténettel. Az emlősfajok több mint 40 százaléka rágcsáló, és azt mondják, több rágcsáló egyed él a világon, mint a többi emlősből összesen. A patkányok és az egerek voltak a mi Mezőgazdasági Forradalmunk rejtett haszonélvezői, és velünk együtt utazva keltek át a tengereken a világ minden tájára. Megcsappantják magtárainkat és egészségünket. A patkányok és bolháik voltak felelősek a fekete halálért és a Nagy Pestisért (mindkettő bubópestisjárvány), tífuszt terjesztettek, és a második ezredfordulón is több ember haláláért okolhatók, mint az összes háború és forradalom együttvéve. Majd amikor a négy lovast is földre teríti az apokalipszis, a patkányok lesznek azok, amelyek széthordják maradékaikat, és úgy hemzsegnek majd, mint a lemmingek a civilizáció omladékain. Mellesleg a lemmingek is rágcsálók – északi egerek, amelyek nem teljesen világos okoknál fogva úgy megnövelik populációikat, hogy az úgynevezett „lemmingek éveiben" dögvész sújtja őket, aztán pedig eszelős – jóllehet nem zabolátlanul öngyilkos, miként azt tévesen állítják –, tömeges vándorlásba fognak.

A rágcsálók rágógépek. Elöl egy pár rendkívül kiálló metszőfoguk található, amely folyamatosan nő, hogy pótolja az állandó elhasználódást. A rágóizmaik különösen jól fejlettek. Nincsenek szemfogaik, és a nagy fogak közti rés, amely elválasztja metszőfogaikat a hátsóktól, csak javít rágásuk hatékonyságán. A rágcsálók úgyszólván mindenen keresztülrágják magukat. A hódok jókora fákat döntenek le úgy, hogy átrágják a törzsüket. A vakondpatkányok teljesen föld alatt élnek, alagutat ásnak, de nem mellső mancsaikkal, mint a vakondokok, hanem kizárólag met-

A rágcsálók és a nyúlfélék csatlakoznak



szőfogaikkal.* A különféle rágcsálók behatoltak a világ sivatagaiba (ugróegerek és versenyegerek), a magashegységekbe (mormoták és csincsillák), a folyókba (vízipockok, hódok, kapibarák), az esőerdő talajszintjére (agutik), a szavannákba (marák, ugrónyulak) és a sarki tundrába (lemmingek).

A legtöbb rágcsáló egér méretű, de nagyságuk a mormotákon, a hódokon, az agutikon és marákon keresztül egészen a dél-amerikai folyóvizek juh méretű kapibaráiig terjed. A kapibarákat húsuk miatt nemcsak azért díjazzák, mert termetesebbek, hanem mert a római katolikus egyház furcsa mód hagyományosan tiszteletbeli pénteki hallá nyilvánította őket, talán azért, mert vízben élnek. Bár nagyok, a mai kapibarák eltörpülnének több, viszonylag nemrégiben kihalt dél-amerikai rágcsáló mellett. Az óriás kapibara, a *Protohydrochoreus* akkora volt, mint egy ösz vér. A *Telicomys*, ez a még nagyobb, csaknem víziló méretű rágcsáló az óriás kapibarákkal együtt a Nagy Amerikai Kicserélődés idején halt ki, amikor a Panama-földszoros véget vetett Dél-Amerika elszigeteltségének. Az óriás rágcsálók e két nagy csoportja nem volt különösebben egymás közeli rokona, így úgy tűnik, gigantizmusuk egymástól függetlenül alakult ki.

A rágcsálók nélküli világ igencsak másként festene. Ennek eshetősége azonban sokkal kisebb, mint egy rágcsálók uralta, ember nélküli világé. Ha egy nukleáris háború megsemmisíti az emberiséget és az élet nagy részét, a rövid távú túlélésre és a hosszú távú evolúciós leszármazásra a patkányoknak van jó esélyük. Van egy látomásom az Armageddon utáni világról. Velünk együtt a többi nagy testű állat is távozik a színről. A rágcsálók mint alapvető ember utáni dögevők emelkednek föl. Átrágják magukat New Yorkon, Londonon és Tokión, felemésztik a feldúlt éléskamrákat, a kísértetjárta bevásárlóközpontokat és az emberi tetemeket, patkányok és egerek új nemzedékévé alakítva őket, amelyek rohamosan növekvő populációi szétrobbannak a városokról a vidékre. Amikor az emberi tékozlás minden maradványát felemésztik, a populációk ismét összeroppannak, és a rágcsálók egymásnak meg a velük együtt turkáló csótányoknak esnek. A heves versengés időszakában, amit talán rövid generációk és a radioaktivitás által felfokozott mutációs ráta jellemeznek, felgyorsul az evolúció. Az emberek hajóinak és repülőgépeinek letűntével a szigetek újra szigetek lesznek, ahol a helyi populációk a néhány alkalmi tutajozás kivételével elszigetelődnek: ideális feltételek teremtődnek az evolúciós elkülönüléshez. Ötmillió éven belül teljesen új fajok váltják fel az általunk ismerteket. Kardfogú ragadozó patkányok cserkésznek legelésző óriáspatkányokra.** Elegendő idő múltán vajon kialakul egy intelligens, művelt patkányfaj is? Vajon rágcsáló történészek és tudósok végül rendszerezik rég eltemetett városaink rétegei szerint a gondosan kiásott (kirágott) leleteket, hogy rekonstruálják azokat a sajátos és átmenetileg tragikus körülményeket, amelyek a patkánynép nagy áttörését eredményezték?

* Tizenöt fajuk, egy kivételével egyszerűen átrágja magát a földön. Az üregásók (troglodytes) között is a legszélsőségesebbek a csupasz vakondpatkányok. Láncot alkotva, tömegesen gyártják járataikat, miközben a vezérdolgozó által a talajból kirágott földet hátrakotorják a sorban utánuk következőknek. Szándékosan használtam a „dolgozó" szót, mivel a csupasz vakondpatkányok abban is kitűnnek az emlősök közül, hogy leginkább ők közelítik meg a társas rovarok világát. *Még úgy is festenek*, mint a túlméretezett termeszek – iszonyúan rondák a mi ízlésünknek, de minthogy ők maguk vakok, ezzel aligha törődnek.

** Dougal Dixon már jóval előttem látta ezt, és a tehetsége is megadatott hozzá, hogy megfesse fantáziadús könyvében: *After Man: A Zoology of the Future* (Az ember után: A jövő állatvilága).

Az egér meséje

A több ezer rágcsáló közül éppen a házi egér, a *Mus musculus* tartogat egy különleges mesét számunkra, mert közvetlenül utánunk az övé a második legbehatóbban tanulmányozott emlősfaj. Az egér a legfontosabb szereplője a világ orvosi, fizioló-

giai és genetikai laboratóriumainak. Nevezetesen, mellettünk az egér a világ mindeddig csupán néhány azon emlőse közé tartozik, amelyeknek genomját teljesen sorba állították.

Eme nemrégiben sorba állított genomokkal kapcsolatban két dolog keltett indokolatlan meglepetést. Az első az, hogy az emlősök genomja meglehetősen kicsinek tűnik: harmincezer génnyi, vagy még ennél is kisebb. A második az, hogy mennyire hasonlítanak egymásra. Mintha az emberi méltóság azt követelte volna meg, hogy a mi genomunknak sokkal nagyobbnak kellene lennie, mint egy aprócska egéré. És egyébként is, nem kellene abszolút nagyobbnak lennie harmincezer génnél?

Ez a várakozás egyeseket, köztük olyanokat is, akiknek ezt jobban kéne tudniuk, arra a következtetésre ragadtatott, hogy e szerint a „környezetnek" sokkal fontosabbnak kell lennie, mint gondoltuk, hiszen a gének száma a test meghatározásához nem elegendő. Ez aztán valóban elképesztően naiv gondolatmenet. Ugyan miféle mérce alapján döntjük mi el, hány gén szükséges a test meghatározásához? Az efféle elgondolás arra az elhibázott, tudat alatti előfeltevésre épül, hogy a genom egyfajta tervrajz, amelyben minden gén kijelöli a maga kis testrészét. Majd *A gyümölcslégy meséjé*ből megtudjuk, hogy a genom nem tervrajz, hanem inkább egyfajta recept, egy számítógépes program vagy összeszerelési utasítás.

Ha a genomot tervrajznak képzeljük, azt várhatnánk, hogy egy hozzánk hasonlatos, nagy, bonyolult állatnak több génje van, mint egy kevesebb sejttel és kevésbé kifinomult aggyal rendelkező kisegérnek. De, ahogy mondtam, a gének nem így működnek. Még a recept vagy a szerelési utasítás modell is félrevezető lehet, ha nem megfelelően értelmezzük. Kollégám, Matt Ridley a *Nature via Nature* (Természet a természeten keresztül) című könyvében egy másik, szerintem csodásan világos hasonlatot fejt ki. Az általunk sorba állított genomok többsége nem arról szóló utasításgyűjtemény vagy számítógépes főprogram, hogyan építsünk embert vagy egeret, bár egyes részei azok. Ha az lenne, valóban elvárhatnánk, hogy programunk nagyobb legyen, mint egy egéré. Ám a genom nagy része inkább szótárra hasonlít, amely az utasításgyűjtemény megírásához rendelkezésre álló szavakat vagy – miként hamarosan meglátjuk – a főprogram által előhívott alprogramokat tartalmazza. Ahogy Ridley mondja, a *David Copperfield* szavainak listája csaknem megegyezik a *Zabhegyező*évei. Mindkettő egy tanult angol anyanyelvű szókincséből merít. Amiben e két könyv teljesen eltér egymástól, az a szórend, amellyel ezek a szavak egymáshoz fonódnak.

Amikor egy ember vagy egy egér készül, mindkettő embriológiája ugyanabból a génszótárból merít: vagyis az emlősembriológia rendes szókészletéből. Az ember és az egér közti különbség e közös emlős génkészletből merített gének felvonultatásának sorrendjéből, az ennek színhelyéül szolgáló testrészek különbözőségéből, valamint időzítésükből fakad. Mindez bizonyos gének irányítása alatt áll, amelyeknek az a dolguk, hogy bonyolult és finoman hangolt kaszkádokra fűzzék a többi gént. Ám az ilyen irányító gének a genomot alkotó gének között kisebbségben vannak.

Ne értsük félre a „sorrend" fogalmát a gének kromoszómákra való felfűződésével kapcsolatban. Arról van szó, hogy azzal a nevezetes különbséggel, amellyel *A gyümölcslégy meséjé*ben még találkozunk, a gének sorrendje a kromoszómán épp-

oly esetleges, mint a szótárban felsorolt szavaké – amelyek rendszerint ábécérendben állnak, de például az útiszótárakban célszerűségi sorrendben szerepelnek: repülőtéren használatos szavak, orvosi rendelőben hasznos szavak, bevásárláskor használatos szavak és így tovább. A gének sorrendje a kromoszómákon lényegtelen. Az számít, hogy a sejtgépezet megtalálja a megfelelő gént, amikor szüksége van rá, s ezt oly módszerekkel teszi, amelyek egyre inkább kezdenek feltárulni számunkra. *A gyümölcslégy meséjé*ben visszatérünk arra a néhány rendkívül érdekes esetre, amikor a kromoszómán elhelyezkedő gének sorrendje egyfajta kifejezésgyűjtemény értelmében nem esetleges. Egyelőre az a fontos számunkra, hogy az embert az egértől többnyire nem maguk a gének, sem a kromoszomális „kifejezéstárban" elfoglalt sorrendjük különbözteti meg, hanem annak sorrendje, ahogyan működésbe vonják őket. Ez ugyanolyan, mint amikor Dickens vagy Salinger szavakat választ ki az angol szókészletből, és mondatokat szerkeszt belőlük.

Egy szempontból a szóanalógia félrevezető. A szavak rövidebbek, mint a gének, így némelyik szerző az egyes géneket a mondatokhoz hasonlította. A mondatok viszont más oknál fogva nem számítanak jó hasonlatnak. A könyveket nem a mondatok valamely rögzített készletének cserélgetésével állítjuk össze. A legtöbb mondat egyedi. A gének a szavakhoz hasonlóan, de a mondatoktól eltérően újra és újra különböző összefüggésben használatosak. A szavaknál és a mondatoknál jobb hasonlat a génekre a számítógépes szubrutin eszköztár.

Történetesen egy Macintosh számítógéppel vagyok meghitt viszonyban, és bizony már jó néhány éve, hogy utoljára programoztam, így biztos nem vagyok naprakész a részletekben. De annyi baj legyen, az elv ugyanaz marad, és más számítógépekre is érvényes. A Mac a ROM-ban (Read Only Memory – csak olvasható memória) vagy a rendszerfájlok közt tárol egy műveleti eszköztárt, ami indításkor mindig betöltődik. Ezernyi ilyen eszköztárművelet létezik, s ezek mindegyike meghatározott feladatot tölt be, amelyekre a különböző programokban valószínűleg újra meg újra szükség van, még ha nem is pontosan ugyanúgy. Például a kurzorhalványító nevű eszköztárművelet eltünteti a kurzort a képernyőn mindaddig, míg újra meg nem mozdítjuk az egeret. A kurzorhalványító „gén" számunkra láthatatlanul mindannyiszor felszólítást kap, valahányszor gépelni kezdünk, és az egérkurzor eltűnik. Eszköztárműveletek rejlenek a Mac valamennyi, jól ismert közös jellemzője (és a windowsos gépeken utánzott megfelelői) mögött: legördülő menük, görgetősávok, összezsugorítható ablakok, melyeket az egérrel tetszőlegesen húzgálhatunk a képernyőn, és sok egyéb.

Annak, hogy minden Mac-program ugyanúgy néz ki, és ugyanazt a benyomást kelti (amely hasonlóság hírhedt per tárgyává is vált), pontosan az az oka, hogy minden Mac-program, akár az Apple, akár a Microsoft, akár bárki más írja is, ugyanazokat az eszköztárműveleteket hívja elő. Ha egy programozó a képernyő valamely területét bizonyos irányba kívánja mozgatni, mondjuk az egérrel húzva, csak az idejét vesztegeti, ha nem hívja segítségül „ScrollRect" eszközműveletet. Vagy ha egy legördülő menütétel mellé kijelölő kockát szeretne helyezni, bolond lenne saját kódot írni hozzá. Csak behívja a programjába a „CheckItem" műveletet, és már kész is az egész. Ha megnézzük egy bárki által írt Mac-program szövegét, bármilyen programnyelven és bármilyen célra készült is, a legfeltűnőbb vonása az, hogy nagyrészt a jól ismert, beépített eszközműveletek segítségül hívásából épül föl.

A műveletek ugyanazon tárháza áll valamennyi programozó rendelkezésére. A különböző programok e műveletek hívójeleit fűzik össze különböző kombinációkban és sorozatokban.

A valamennyi sejt sejtmagjában lévő genom a szabvány biokémiai feladatok elvégzésére rendelkezésre álló DNS-műveletek eszköztára. Egy sejt magja olyan, mint egy Mac ROM-ja. A különféle sejtek, mondjuk a máj-, a csont- és az izomsejtek bizonyos sejtműködések, így a növekedés, osztódás vagy hormonkiválasztás elvégzéséhez ezen műveletek „hívójeleit" különböző sorrendben és összetételben fűzik össze. Az egér csontsejtjei jobban hasonlítanak az emberi csontsejtekre, mint az egér májsejtjeire – hiszen igen hasonló feladatot töltenek be, és ennek érdekében ugyanarra az eszközművelet-készletre van szükségük. Hát ezért van az, hogy valamennyi emlős genomja körülbelül egyforma méretű – hiszen ugyanazt az eszköztárat igénylik.

Mindazonáltal az egér csontsejtjei másként viselkednek, mint az emberi csontsejtek, és ez is tükröződik a sejtmagban lévő eszköztár különböző hívójeleiben. Maga az eszköztár nem azonos az egérben és az emberben, de akár azonos is lehetne anélkül, hogy veszélyeztetnénk a két faj közti fő eltéréseket. Ami igazán számít ahhoz, hogy egy egeret az embertől különbözőre faragjunk, az nem annyira maguknak az eszközműveleteknek a különbözőségében, hanem az eszközműveletek előhívásának a különbségében rejlik.

A HÓD MESÉJE

A „fenotípus" az, amit a gének meghatároznak. Ez nagyjából mindent magában foglal, ami a testtel kapcsolatos. Ám a szó etimológiájából finom hangsúlybeli megkülönböztetés fakad. A *phaino* görögül 'megmutat, napvilágra hoz, megjelenít, megmutat, leleplez, feltár, megnyilvánul'. A fenotípus a rejtett genotípus külső és látható megnyilvánulása. Az *Oxford English Dictionary* meghatározása szerint „valamely egyed megfigyelhető tulajdonságainak összessége, amelyet a genotípus és a környezet közötti kölcsönhatás eredményének tekintenek", ám megelőzi ezt egy ennél árnyaltabb megfogalmazás: „megfigyelhető tulajdonságok alapján a többitől megkülönböztethető szervezet".

Darwin a természetes kiválasztódást úgy tekintette, mint amely bizonyos szervezettípusok fennmaradását és szaporodását jelenti a vetélytárs szervezettípusok rovására. A „típusok" itt nem csoportokat, fajtákat vagy fajokat jelent. *A fajok eredete* alcímének alaposan félreértett fordulata – „az előnyt élvező fajták fennmaradása" – nyomatékosan nem a hétköznapi értelmében használja a „fajta" szót. Darwin a gének elnevezése és valódi megismerése előtt írt, ám mai fogalmaink szerint az „előnyt élvező fajták" alatt bizonyára „előnyt élvező gének birtoklóit" értette.

A kiválasztódás csak annyiban mozgatja az evolúciót, amennyiben az alternatív típusok a géneknek köszönhetik különbségeiket: ha a különbségek nem öröklődnek, a megkülönböztetett fennmaradás nincs hatással a későbbi nemzedékekre. Egy darwinista szemében a fentotípusokban a kiválasztódásnak a génekről mondott íté-

lete testesül meg. Amikor azt mondjuk, hogy a hód farka azért lapos, hogy evezőként szolgáljon, ezalatt azt értjük, hogy azok a gének, amelyek fenotipikus kifejeződése a farok ellapításával járt, az illető fenotípusnak köszönhetően maradtak fenn. A lapos farkú fenotípusú hódegyedek azért maradtak fenn, mert jobb úszók voltak; a lapos farokért felelős gének maradtak fenn bennük, és adódtak tovább lapos farkú hódok új nemzedékeinek.

Ugyanakkor azok a gének, amelyek a fákat átrágni képes, hatalmas, éles metszőfogakban fejeződtek ki, szintén fennmaradtak. A hódegyedek a génkészletükben végbemenő géncserélődésekből épülnek fel. A gének azért maradtak fönn a hódok őseinek nemzedékeiben, mert beváltak a hód génkészletében lévő többi génnel való, arra irányuló együttműködésben, hogy olyan fenotípust hozzanak létre, amely jól boldogul a hód életmódja mellett.

Megint csak más géntársulások maradnak fönn a más életmódokon fennmaradó testeket felépítő génkészletekben, így alkotva meg a tigris-társulást, a teve-társulást, a csótány-társulást, a sárgarépa-társulást. Első könyvemnek, *Az önző gén*nek nyugodtan adhattam volna *Az együttműködő gén* címet is anélkül, hogy akár egyetlen szava is változtatásra szorulna. Valóban, így elkerülhettem volna néhány félreértést (a könyv leghangosabb kritikusai közül néhány megelégedik pusztán a könyvcím elolvasásával). Az önzés és az együttműködés a darwinista érme két oldala. Minden gén saját önző háborúját folytatja úgy, hogy a gén környezetét jelentő, szexuálisan felbolygatott génkészletben együttműködik más génekkel, hogy közös testeket alkossanak.

A hódgének viszont a tigrisekétől, a tevékétől vagy a sárgarépákétól meglehetősen elütő fenotípusokkal rendelkeznek. A hódoknak tavi fenotípusaik vannak, amelyek a gát fenotípusoknak köszönhetők. A tó *kiterjesztett fenotípus*. A kiterjesztett fenotípus a fenotípusok különleges fajtája, amelyről a fejezet hátralévő része szól, mintegy összefoglalva erről szóló könyvemet *(A hódító gén)*, nem csupán önmagában érdekes, hanem azért is, mert segít megértenünk, hogyan fejlődnek ki a hagyományos fenotípusok. Ki fog derülni, hogy nincs lényeges elvi különbség egy olyan kiterjesztett fenotípus, mint a hódtó és az olyan hagyományos fenotípus, mint a lapos hódfarok között.

Miként lehet jogos ugyanazt a szót – a fenotípust – használni egyfelől egy húsból, csontból és vérből álló farokra, másfelől egy gáttal lezárt völgy állóvizére? A válasz az, hogy mindkettő a hódgének megnyilatkozása; mindkettő azért alakult ki, hogy egyre jobban megőrizhesse ugyanazokat a géneket; mindkettőt hasonló embriológiai oksági láncolat fűzi a rajtuk keresztül kifejeződő génekhez. Hadd magyarázzam el!

Annak az embriológiai folyamatnak a részletei, amelynek során a hódgének megformálják a hódfarkat, nem ismeretesek, ám tudjuk, mi játszódik le. A hód minden egyes sejtjében lévő gének úgy viselkednek, mintha „tudnák", miféle sejtben vannak. A bőrsejtekben ugyanolyan gének találhatók, mint a csontsejtekben, ám más-más gének vannak bekapcsolva a kétféle szövetben. Ezt láttuk az egér meséjében. A hódfarok különböző sejtjeiben lévő gének úgy viselkednek, mintha „tudnák", hol vannak. Ők veszik rá sejtjeiket, hogy úgy működjenek együtt egymással, hogy az egész farok felöltse jellegzetesen csupasz, lapos formáját. Roppant nehézségek rejlenek annak kimunkálásában, hogy „honnan" tudják, a farok melyik

részében vannak. Elvileg azonban tudjuk, hogyan küzdhetők le az efféle nehézségek, és a megoldások, akárcsak maguk a nehézségek, éppoly általános érvényűek lesznek, ha a tigris lábainak, a teve púpjának vagy a sárgarépa leveleinek a kialakulását vizsgáljuk.

A viselkedést vezérlő idegsejti, idegsejt-kémiai fejlődésben ugyanazok az általános fajtájú gének vesznek részt. A párzási viselkedés a hódokban ösztönös. Egy hím hód agya a vérbe történő hormonális kiválasztáson és a művészien felfüggesztett csontokra feszülő izmok idegi szabályzásán keresztül hangolja össze a mozgások szimfóniáját. Az eredmény a pontos együttműködés egy nősténnyel, amely saját mozgásszimfóniájában maga is harmonikusan mozog, és az egyesülés megvalósulása érdekében éppoly gondosan hangszerelt. Biztosra vehetjük, hogy ezt a finom idegizom zenét a természetes kiválasztódás nemzedékei csiszolták és tökéletesítették. Márpedig ez géneket jelent. A hód génkészletében azok a gének maradtak fönn, amelyek fenotipikus hatásai – a hódosok generációinak agyára, idegeire, izmaira, mirigyeire, csontjaira és érzékszerveire – javították annak esélyét, hogy éppen azok a gének éppen azokon a generációkon keresztül megérkezzenek a mába.

A viselkedés génjei pontosan ugyanúgy maradnak fönn, mint a csontok vagy a bőr génjei. Vajon az olvasó tiltakozik-e azt hallván, hogy „valóban" nincsenek külön viselkedés-gének, csak ideg- és izom-gének vannak, amelyek előállítják a viselkedést? Ha igen, akkor még megrekedt a bálványimádó álmodozásnál. Az anatómiai szerkezetek, ahol a gének „közvetlen" hatásairól van szó, nem élveznek különleges státust a viselkedésbeliekkel szemben. A gének „valóban" és „közvetlenül" csak a fehérjékért vagy egyéb közvetlen biokémiai hatásokért felelősek. Az összes többi hatás, legyen bár anatómiai vagy viselkedésbeli, mind közvetett. Ám a közvetlen és a közvetett megkülönböztetése értelmetlen. Darwini értelemben igazán az számít, hogy a gének közti *különbségek* fenotípusbeli *különbségként* fordítódnak le. A természetes kiválasztódást igazán csak a különbségek érdeklik. És pontosan ugyan így, a genetikusokat is csak a különbségek érdeklik.

Idézzük fel az *Oxford English Dictionary* „árnyaltabb" fenotípus-meghatározását: „megfigyelhető tulajdonságok alapján a többitől megkülönböztethető szervezet". A kulcsszó a *megkülönböztethető*. A barna szemért „felelős" gén nem az a gén, amely közvetlenül a barna pigment szintézisét kódolja. Nos, éppenséggel ez is előfordulhat, de nem ez a lényeg. A barna szemért „felelős" génnél az a lényeg, hogy ennek birtokában *különböző* lesz a szemszín, *ha összevetjük* annak a génnek más lehetséges változatával – vagyis „alléljával". Az az oksági lánc, amely két fenotípus, mondjuk a barna és kék szem különbségében csúcsosodik ki, rendszerint hosszú és kacskaringós. A gén olyan fehérjét készít, amelyik különbözik a génváltozat által készített fehérjétől. A fehérje enzimhatást gyakorol a sejtkémiára, ami hatást fejt ki X-re, az hatást fejt ki Y-ra, amely hatást fejt ki Z-re, amely hatást fejt ki ... közbenső okok hosszú láncolatára, amely hatást fejt ki ... a szóban forgó fenotípusra. Az allél *különbözik*, ha fenotípusát összevetjük az alternatív allélból eredő hosszú okozati lánc végén kapott megfelelő fenotípussal. A géneltérések fenotípusbeli eltéréshez vezetnek. A darwinista evolúcióban a fenotípusra gyakorolt hatás különbségénél fogva válogatódnak ki az allélok az alternatív allélokkal szemben.

A hód poénja az, hogy a fenotípusok ezen összehasonlítása az oksági lánc bármely pontján elvégezhető. A lánc minden közbenső szeme valódi fenotípus, és

bármelyikük képviselheti azt a fenotipikus hatást, amely a gént kiválasztja: csupán „láthatónak" kell lennie a természetes kiválasztódás számára, de azzal senki sem törődik, látható-e általunk. A láncnak nincs „utolsó" szeme: nincs végső, végérvényes fenotípus. Az allélokban végbement változás minden következménye, a világon mindenütt, bármilyen közvetett is, s bármilyen hosszú is az okozati lánc, szabad préda a természetes kiválasztódás számára, mindaddig, amíg az hatást gyakorol az illető allél vetélytárs allélokkal szembeni fennmaradására.

Nos, most vizsgáljuk meg a hódok gátépítéséhez vezető embriológiai oksági láncot. A gátépítő viselkedés olyan bonyolult sztereotípia, amely úgy épül be az agyba, mint valami finoman hangolt óraszerkezet. Vagy hogy az órák történetét az elektronika korában folytassuk tovább, a gátépítés be van huzalozva az agyba. Láttam egy figyelemre méltó filmet egy víz és fa nélküli, sivár és üres ketrecben fogva tartott hódokról. A hódok „légüres térben" eljátszották az összes sztereotip mozdulatot, amit normál esetben a természetes építő viselkedése közben láthatunk, amikor van valódi fa és valódi víz. Mintha virtuális vizet vezettek volna virtuális gátfalak közé, miközben szánalmasan fantombotokból fantomfalat igyekeztek építeni börtönük kemény, száraz, lapos padlóján. Sajnálhatjuk őket: mintha megakasztott gátépítő óraművüket próbálnák eltökélten járatni.

Effajta agyi óraművel csak a hódok rendelkeznek. Más fajoknak a párzásra, a vakarózásra, a harcra szolgáló óraművük van, miként a hódoknak is. Ám gátépítő óraművel csak a hódok bírnak, ami a hódősökben minden bizonnyal lassú lépésenként alakult ki. Azért fejlődött ki, mert a gátakkal teremtett tavak hasznosak. Nem egészen világos, mire hasznosak, de hasznosnak kell lenniük az őket építő hódok, nem csupán az ősi hódok számára. A legjobb tippnek az tűnik, hogy a tó a legtöbb ragadozó által elérhetetlen, biztonságos lakhelyet és biztos útvonalat nyújt a fa szállítása számára. Bármi legyen is az előny, bizonyára jelentősnek kell lennie, különben a hódok nem szánnának annyi időt és fáradságot a gátépítésre. Még egyszer megjegyzem, hogy a természetes kiválasztódás prófétai elmélet. A darwinista magabiztosan jósolhatja, hogy ha a gátépítés hasztalan időpazarlás lenne, az építésüktől tartózkodó rivális hódok inkább fennmaradnának, és azt a genetikai tendenciát adnák tovább, hogy a hódok ne építsenek gátat. Az, hogy a hódok oly elszántan építik gátjaikat, igen erős bizonyíték amellett, hogy őseik is hasznot húztak belőle.

Az agy gátépítő óraművének, minden egyéb hasznos adaptációhoz hasonlóan, ugyancsak a gének darwinista kiválasztódása útján kellett kialakulnia. Bizonyára voltak az agy huzalozásának olyan genetikai változatai, amelyek befolyásolták a gátépítést. Azok a genetikai változatok, amelyek jobb gátakat eredményeztek, nagyobb valószínűséggel maradtak fenn a hódgénállományban. Ugyanez a története az összes darwinista adaptációnak. De melyik a fenotípus? Az oksági lánc melyik szemére mondhatjuk, hogy benne a genetikai különbség megnyilvánul? A válasz csak az, hogy valamennyi láncszemre, ahol a különbség látható. Az agy huzalozási rajzára mondhatjuk? Igen, csaknem biztosan. A sejtek kémiájára, amely az embrionális fejlődésben ahhoz a huzalozáshoz vezet? Egyértelműen. De a *viselkedés* – a viselkedés az izom-összehúzódások eme szimfóniája – ugyancsak tökéletesen elfogadható fenotípus. Az építési viselkedés különbségei kétségtelenül a génkülönbségek megnyilvánulásai. És ugyanezen az alapon e viselkedés *következményei* is teljesen elfogadhatóan tekinthetők a gének fenotípusainak. Hogy milyen következmények?

Természetesen a gátak. És a tavak, lévén a gátak következményei. A tavak közti különbségeket a gátak közti különbségek befolyásolják, miként a gátak közti különbségeket a viselkedésmód különbségei, amelyek viszont a gének közötti különbségek következményei. Pontosan ugyanazon logika alapján, miszerint azt mondjuk, hogy egy farok tulajdonságai a gének fenotipikus hatásának eredményei, azt is elmondhatjuk, hogy egy gát vagy egy tó tulajdonságai a gének valóságos fenotipikus hatásának az eredményei.



Hód úszik kiterjesztett fenotípusában
Európai hód *(Castor fiber)*

A biológusok egy gén fenotipikus hatásait hagyományosan csakis az illető gént hordozó egyed bőrén belül keresik. A hód meséjéből kiderül, hogy ez szükségtelen. Valamely gén fenotípusa a szó szoros értelmében kibújhat az egyed bőréből. A madarak fészkei kiterjesztett fenotípusok. Alakjuk és méretük, bonyolult kürtőik és csöveik, elhelyezkedésük, mind a darwinista alkalmazkodás megnyilvánulásai, és ezért nyilván az alternatív gének különböző fennmaradása révén fejlődtek ki. Gének mint viselkedésépítők? Igen. Gének mint agyhuzalozók, tehát a megfelelő alakú és méretű fészeképítésre is jók? Igen. Gének mint megfelelő alakú és méretű fészkek építői? Igen. Igen, ugyanolyan alapon, igen. A fészkek fűből, gallyakból és sárból, s nem madársejtekből épülnek. Ám ez nem ahhoz a kérdéshez tartozik, hogy vajon a fészkek közötti különbség a gének közötti különbségekből fakad-e. Ha igen, akkor a fészkek a gének megfelelő fenotípusai. A fészkek különbségeit pedig bizonyára befolyásolnia kellett a génbeli különbségeknek, máskülönben hogyan javíthatta volna őket a természetes kiválasztódás?

Az olyan műtárgyak, mint a fészkek, a gátak (és a tavak) a kiterjesztett fenotípusok könnyen érthető példái. Akadnak azonban olyanok is, ahol a logika ennél kissé… nos, szárnyalóbb. Például elmondhatjuk, hogy a parazita géneknek fenotipikus kifejeződései lehetnek a gazdaszervezetek testében. Ez még ott is igaz lehet, mint mondjuk a kakukk esetében, ahol nem a gazdaszervezeteikben tanyáznak. Aztán az állati kommunikáció számos példája írható át a kiterjesztett fenotípus nyelvezetére – így például az, amikor a hím kanári énekére a tojó petefészke megnagyobbodik. Ez azonban túl messzire vezetne a hódtól, akinek meséje egy végső megjegyzéssel zárul. Szerencsés feltételek mellett a hódtó többmérföldnyire is kiterjedhet, s így ez lehet egy gén legnagyobb fenotípusa a világon.

11. TALÁLKOZÁS ■ A LAURÁZSIAIAK

11

Nyolcvanöt millió évvel ezelőtt a felső kréta kor üvegházi világában találkozunk nagyjából 25 milliomodik ősszülőnkkel, a 11. köz-őssel. Itt a társaságunkat a 10. találkozáson felduzzasztó nyulaknál és rágcsálóknál jóval változatosabb zarándokcsapat társul hozzánk. Buzgó taxonómusok azzal ismerik el közös eredetüket, hogy a laurázsiaiak nevet adták nekik, ám ezt a nevet mégis ritkán használják, mivel valójában igencsak vegyes társaságról van szó. A rágcsálók valamennyien ugyanarra a fogas kaptafára készültek, és feltehetően azért szaporodtak el és sokasodtak meg, mert ez nagyon is jól működik. A „rágcsálók" kifejezés valóban valami megfoghatót jelent; olyan állatokat egyesít, amelyek sokban hasonlítanak egymásra. A „laurázsiaiak" terminus éppoly alkalmatlan, mint amilyen a hangzása. Olyan rendkívül eltérő emlősöket fog össze, amelyek csupán egyetlen dologban közösek, nevezetesen, hogy zarándokaik már azt „megelőzően" összeverődtek, hogy hozzánk csapódtak volna. Eredetileg valamennyien az egykori északi kontinensről, Laurázsiából származtak.

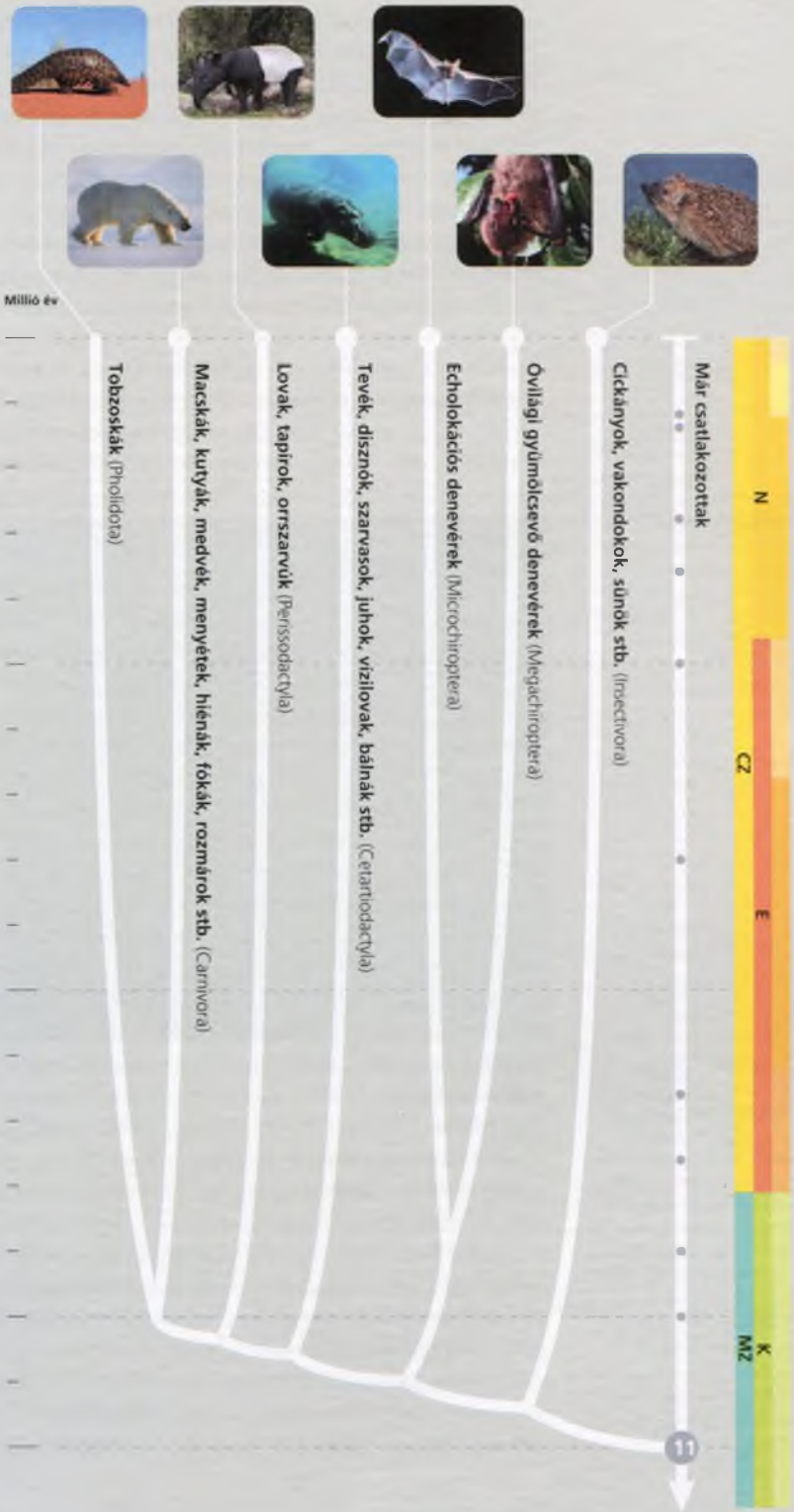
És mily tarka népséget alkotnak ezek a laurázsiai zarándokok! Egyik repül, a másik úszik, sokan ügetnek, a fele társaság pedig idegesen pislog a háta mögé, nehogy megegye a kompánia másik fele. Hét különböző rendbe tartoznak, úgymint pikkelyes emlősök (tobzoskák), ragadozó emlősök (kutyák, macskák, hiénák, medvék, menyétek, fókák stb.), páratlanujjú patások (lovak, tapírok és orrszarvúk), párosujjú patások (antilopok, szarvasok, szarvasmarhák, tevék, disznók, vízilovak és... nos, majd később visszatérünk e csoport meglepetéstagjára), kisdenevérek és nagydenevérek, valamint a rovarevők rendjébe (vakondokok, sündisznók és cickányok, *kivéve* az elefántcickányt és a tanreket, mert rájuk még várnunk kell a 13. találkozásig).

A ragadozók latin neve, a Carnivora bosszantó név, mert egyszerűen húsevőt jelent, márpedig a húsevést az állatvilágban szó szerint több százszor is feltalálták egymástól függetlenül. Nem minden húsevő Carnivora tehát (a pókok is húsevők, és az volt a dinoszauruszok kihalása óta a legnagyobb húsevő, a patás *Andrewsarchus* is), miként nem minden Carnivora húsevő (gondoljunk csak a csaknem kizárólag bambuszevő szelíd óriáspandára). Az emlősökön belül a Carnivora rend mégis valódi monofiletikus kládnak tűnik, ami olyan állatcsoportot jelent, amelynek minden tagja egyetlen olyan közös őstől származik, amelyet közéjük lehetett volna besorolni. A macskák (ideértve az oroszlánokat, a gepárdokat és a kardfogú tigriseket is), a kutyák (ideértve a farkasokat, a sakálokat és a fokföldi vadászkutyákat is), a menyétek és rokonaik, a mongúzok és rokonaik, a medvék (beleértve a pandákat is), a hiénák, a rozsomákok, a fókák, az oroszlánfókák és a rozmárok mind a Carnivora laurázsiai rend tagjai, és mind egy olyan közös őstől származik, amely ugyanabban a rendben foglalt volna helyet.

A LAURÁZSIAIAK CSATLAKOZNAK

A 2000-es évek elején a genetikai kutatások forradalmat hoztak az emlősök taxonómiájában. Ezen új felfogás szerint a méhlepényes emlősök négy fő csoportra tagolódnak. Egyik a jelenlegi társulatunk (amely főként rágcsálókból és főemlősökből toborzódik). Legközelebbi rokonaiknak egybehangzóan a következő főcsoport, a mintegy 2000 fajt számláló laurázsiaiak bizonyultak. A laurázsiaiak itt felvázolt leszármazási fája az új osztályozás hívei szerint úgyszólván biztosra vehető.

KÉPEK BALRÓL JOBBRA:
fokföldi tobzoska *(Manis temminckii)*; jegesmedve *(Ursus maritimus)*; maláj tapír *(Tapirus indicus)*; víziló *(Hippopotamus amphibius)*; fakó álvámpír *(Macroderma gigas)*; indiai repülőkutya *(Pteropus giganteus)*; európai sün *(Erinaceus europaeus)*



A ragadozóknak és zsákmányuknak le kellett futniuk egymást, így nem meglepő, hogy a gyorsaság iránti igény hasonló evolúciós irányokba késztette őket. A futás hosszú lábakat igényel, és a nagy laurázsiai növényevők és ragadozók egymástól függetlenül és eltérő módon meg is hosszabbították lábaikat az olyan csontok igénybevételével, amelyek bennünk alig észrevehetően eltemetődtek a kezeinkbe (kézközépcsont) és lábainkba (lábközépcsont). A ló „alsó lábszárcsontja" tulajdonképpen megnagyobbodott harmadik kézközépcsont (vagy lábközépcsont), amely egyesült két apró szárközépcsonttal, a második és harmadik kézközépcsont (vagy lábközépcsont) maradványaival. Az antilopokban és más párosujjú patásokban az alsó lábszárcsont a harmadik és negyedik kézközépcsont (lábközépcsont) összeolvadása. A ragadozók kéz- és lábközépcsontjai is megnyúltak, de ezek különállók maradtak, s nem olvadtak össze vagy tűntek el teljesen, mint a lovaknál, a szarvasmarháknál vagy a többi, úgynevezett patásoknál.

Az *unguis* latinul 'körmöt' jelent, s a patások olyan állatok, amelyek a körmükön – a patájukon – járnak. Ám a patán való járást többször is feltalálták, így a patás terminus inkább leíró jellegű, semmint tisztes taxonómiai név. A lovak, az orrszarvúk és a tapírok páratlanujjú patások. A lovak egy ujjon, a középsőn járnak. Az orrszarvúk és a tapírok a középső hármon járnak, ahogy korai lovak is tették, és néhány mai atavisztikus mutáns ló is. A párosujjú vagy hasított körmű patások két ujjukon, a harmadikon és a negyediken járnak. A kétujjú szarvasmarhafélék és az egyujjú lófélék közti konvergens hasonlóságok szerények, ha mindkettő konvergens hasonlóságait külön összevetjük bizonyos kihalt dél-amerikai növényevőkkel. Egy litoptern nevű csoport függetlenül és korábban „felfedezte" a lovak egyetlen, középső ujjon való járásmódját. Lábcsontjaik csaknem teljesen megegyeznek a lovakéval. Más dél-amerikai növényevők, köztük az úgynevezett notoungulates ugyancsak függetlenül fedezték föl a szarvasmarha/antilop típusú, a harmadik és negyedik ujjon való járásmódot. Az ilyen elképesztő hasonlóságok a tizenkilencedik században annyira lóvá tettek egy jeles argentin zoológust, hogy úgy vélte, Dél-Amerika volt számos nagy emlőscsoportunk evolúciós bölcsődéje. Különösen abban hitt, hogy a litopternek az igazi lovak korai rokonai voltak (talán egy kis nemzeti büszkeséggel eltelve attól, hogy hazája lehetett e nemes állatok bölcsője).

A most hozzánk társuló laurázsiai zarándokok között éppúgy találunk kisállatokat, mint nagy termetű patásokat és ragadozókat. A denevérek sok szempontból figyelemre méltók. A fennmaradt gerincesek közül ők az egyedüliek, amelyek a repülésben felveszik a versenyt a madarakkal, és valóban igen lenyűgöző légtornászok. Csaknem ezer fajukkal a rágcsálók kivételével messze felülmúlják a többi emlősrendet. Emellett a denevérek a szonárt (a radar hangra épülő megfelelőjét) minden állatcsoportnál magasabb szintre fejlesztették, beleértve a tengeralattjárók emberi tervezőit is.*

A kis termetű laurázsiaiak másik fő csoportját az úgynevezett rovarevők (Insectivora) képviselik. A rovarevők rendjébe tartoznak a cickányok, a vakondokok, a sünök és más kis szaglászó teremtmények, amelyek rovarokkal, és olyan kis földi gerinctelenekkel táplálkoznak, mint a giliszták, a meztelencsigák és a százlábúak. Akárcsak a Carnivora esetében, itt is nagybetűvel jeleztem, a taxonómiai csoportot: Insectivora, szemben a kis i-vel írt rovarevőkkel,** amely valamennyi rovarral táplálkozó állatra vonatkozik. Így például a tobzoska (vagy pikkelyes hangyász) rovar-

* Ezen a ponton szerettem volna beszúrni *A denevér meséjét*, de ez nagyjából ugyanúgy hangzott volna, mint egy másik könyvem idevágó fejezete, így hát nem teszem. Hasonló önkorlátozást kellett tanúsítanom *A kígyó meséjével*, *A fügefa meséjével* és még vagy fél tucat másikkal.

** A rovarevők angol neve ugyancsak „insectivora". *(A ford.)*

evő, de nem Insectivora. A vakondok Insectivora, és tényleg rovart eszik. Ahogy már megjegyeztem, sajnálatos, hogy a korai taxonómusok efféle neveket adtak, mint Carnivora és Insectivora, hisz ezek csak lazán felelnek meg a kedvelt étrendjükről szóló leírásoknak, s ez gyakran okoz keveredést.

A kutyákhoz, macskákhoz és medvékhez hasonló ragadozók rokonai a fókák, az oroszlánfókák és a rozmárok. Nemsokára meghallgathatjuk *A fóka meséjét* a párzási rendszerekről. A fókákat más okból is érdekesnek találom: beköltöztek a vízbe, és körülbelül feleannyira átalakították magukat abba az irányba, amit a dugongok és a bálnák képviselnek. Ez pedig eszünkbe juttatja a laurázsiaiak másik nagy csoportját, amit eddig még nem érintettünk. Hallgassuk csak *A víziló meséjét*! Igazi meglepetés vár ránk.

A VÍZILÓ MESÉJE



EGY BÁLNÁNYI MEGLEPETÉS *Hippopotamus amphibius* elemében. A vízilovaknak két faja maradt fenn máig Afrikában (a másik a libériai törpevíziló, a *Hexaprotodon liberiensis*), de kövületmaradványok szerint a vízilovaknak talán három faja is élt Madagaszkáron egészen a holocénig.

Amikor kisiskolás koromban görögül tanultam, megtudtam, hogy a *hipposz* 'lovat', a *potamosz* 'folyót' jelent. A hippók tehát folyami lovak. Később, amikor abbahagytam a görögöt, és a zoológia tanulmányozására adtam a fejem, nem lepődtem meg túlzottan, amikor megtudtam, hogy a vízilovak tulajdonképpen nem is állnak közel a lovakhoz. Ehelyett egyértelműen a disznókkal vonták össze őket, a párosujjú patások kellős közepébe. Most viszont valami olyannyira megdöbbentőt tudtam meg, hogy még mindig vonakodok elhinni, de nagyon úgy néz ki, hogy mégiscsak erre kényszerülök. A vízilovak legközelebbi élő rokonai a bálnák. A bálnák is a párosujjú patások közé tartoznak! Szükségtelen mondanunk, hogy a bálnáknak nincsenek sem páros, sem páratlan ujjú patáik. Mi több, ujjaik sincsenek, úgyhogy tán kevésbé lenne zavaró, ha tudományos nevüket, az Artiodactylát használnák (amely viszont csak a görög megfelelője a páros ujjúnak, úgyhogy nem vagyunk kisegítve). A teljesség kedvéért megjegyzem, hogy a lovak rendjének a Perissodactyla a tu-

dományos megfelelője (görögül páratlan ujjú). A bálnák tehát, most már a szilárd molekuláris bizonyítékok alapján, úgy tűnik, Artiodactylák. Ám mivel korábban a Cetacea (cetek) rendjébe sorolták őket, és mivel az Artiodactyla is meggyökeresedett név, új szóösszetételt kovácsoltak rájuk, a Cetartiodactylát.

A bálnák a világ csodái. Közéjük tartozik a valaha is moccanó legnagyobb élőlény. A gerincoszlopnak az emlősök ügetéséből fakadó, fel-le hullámzó mozgatásával úsznak, ellentétben egy úszó hal vagy egy futó gyík oldalirányú hullámzó mozgásával.* A mellső végtagokat kormányzásra és stabilizálásra használják. Egyáltalán nincsenek külsőleg látható hátsó végtagjaik, ám egyes bálnáknak a testük mélyére rejtve vannak kis maradvány medence- és lábcsontjaik.

Nem okozna különösebb nehézséget elhinnünk, hogy a bálnák közelebbi unokatestvérei a párosujjú patásoknak, mint bármely másik emlősnek Talán némileg kissé furcsa, de még azt sem megdöbbentő elfogadni, hogy valami távoli ős balra elhajolva belegázolt a tengerbe, hogy létrehozza a bálnákat, míg a jobbszárny adta az összes többi párosujjú patást. Igazából az sokkoló, hogy a molekuláris bizonyítékok szerint a bálnák mélyen beágyazottak a párosujjú patások *közé*. A vízilovak közelebbi unokatestvérei a bálnáknak, mint bármi másnak, beleértve az olyan párosujjú patásokat is, mint a sertés.** Visszaútjukon a víziló zarándokok és a bálna zarándokok már „azelőtt" egyesülnek, hogy társulnának a kérődzőkhöz, majd a többi párosujjú patáshoz, így a disznókhoz. A bálnák jelentik azt a meglepetést, amelyre szemérmetesen utaltam a párosujjú patások bemutatásakor a 11. találkozás során. Ezt nevezik whippo-elméletnek.***



A művész így képzeli a *Protocetust*, ezt az eocén kori őscetet. Michael Long festménye.

Mindez azt feltételezi, hogy hiszünk a molekuláris bizonyságtételben.**** Vajon mit mondanak a kövületek? Első meghök-kenésemre az új eszme egész jól illeszkedik. Az emlősök nagy rendjeinek többsége (bár az alkategóriák nem) jócskán visszanyúlik a dinoszauruszok korába, miként azt láttuk *A nagy kréta kori katasztrófa* című fejezetben. Mind a 10. (a nyulakkal és a rágcsálókkal sorra került), mind a 11. találkozás (ahova épp most érkeztünk), a krétában, a dinoszauruszok uralmának hőskorában esett meg. Ám a korabeli emlősök mind meglehetősen kicsi, cickányszerű lények voltak, függetlenül attól, hogy a leszármazottjukra az egerek vagy vízilovak sorsa várt-e. Az emlősök változatosságának igazi megugrása a dinoszauruszok 65,5 millió évvel ezelőtti kihalása után, hirtelen kezdődött el. Az emlősök akkoriban váltak képessé arra, hogy benépesítsék azokat az ökológiai területeket, amelyeket üresen hagytak a dinoszauruszok. A nagy testméret csupán az egyik volt mindazon adottságok közül, amelyek csak a dinoszauruszok távoztával váltak lehetővé az emlősök számára. A szétágazó evolúció folyamata gyors volt, s a „felszabadulás" után 5 millió évvel máris roppant sokaságú, mindenféle méretű és nagyságú emlős nyüzsgött a Földön. Öt-tíz millió évvel később a paleocén vagy az eocén korból bővelkedünk a párosujjú patások kövületeiben.

* Vagy feltehetően az úszó ichthyoszauruszéval, aki más tekintetben eléggé hasonlít a delfinre, eltekintve az árulkodó függőleges farkától – míg a delfiné vízszintes, hogy át tudjon galoppozni vele a tengereken.

** Egyébként akkor is tévedtünk, amikor a vízilovakat legközelebb a sertésekhez helyeztük a párosujjú patások közül. A molekulák szerint a víziló-bálna klád testvércsoportja a kérődzők: a szarvasmarhák, juhok és antilopok. A sertések teljesen kiesnek ebből.

*** A bálna és a víziló angol nevének összevonásából: *whale* és *hippo*. *(A ford.)*

**** E radikális nézet molekuláris bizonyítéka az, amire *A gibbon meséjében* ritka genomváltozásként (RGC) utaltam. Bizonyos jól felismerhető, áthelyezhető génelemek a genom meghatározott helyein helyezkednek el, amelyeket feltehetően a víziló/bálna őstől örököltek. Bár ez rendkívül szilárd bizonyíték, azért illő a kövületekre is pislantani.

Újabb 5 millió évvel később, az eocén korai és középső periódusa határán találunk egy csoportot, az őscetekét *(Archaeoceti)* (lásd a szemközti képet). A legtöbb szaktekintély elfogadja, hogy ezek között az állatok között találhatjuk a mai bálnák őseit. Egyik korai példányuk a Pakisztánban talált *Pakicetus*, mintha idejének legalábbis egy részét a szárazföldön töltötte volna. A későbbiek közé tartozott a szerencsétlenül elnevezett *Basilosaurus* (nem a *Basil* miatt szerencsétlen, hanem mert a *saurus* gyíkot jelent: felfedezésekor azt hitték, hogy a *Basilosaurus* tengeri hüllő volt, és a névadási szabályok rigorózusan elsőbbséget követelnek, még akkor is, ha ma nem így gondoljuk).* A *Basilosaurus*nak roppant hosszú teste volt, és jó eséllyel pályázhatna a legendák óriás tengeri kígyója posztra, ha már régen ki nem halt volna. Nagyjából akkoriban, amikor a bálnák a *Basilosaurus*ra hasonlítottak, a korabeli vízilőősök az *Anthracotheres*ek csoportjába tartozhattak, amelyek némely rekonstrukció alapján elégé hasonlítottak a vízilovakra.

A bálnához visszatérve, vajon mi volt a helyzet az *Archaeocetes*ek elődeivel, mielőtt visszahódították volna a vizeket? Ha a molekuláknak igazuk van, és a bálnák a vízilovakhoz állnak a legközelebb, akkor kísértést érezhetünk arra, hogy őseiket olyan kövületek közt keressük, amelyek a növényevésre utaló bizonyítékokat mutatnak. A velük rokonságban egyáltalán nem levő dugongok és manátuszok egyébként igazolják, hogy egy teljesen tengeri emlős számára is lehetséges a teljesen növényi táplálkozás. A bálnák vagy a planktonban lévő rákokat eszik (szilás cetek); vagy halat és tintahalat (delfinek és a fogas cetek többsége); vagy olyan nagy zsákmányt, mint a fókák (gyilkos bálnák). Emiatt némelyek a bálnák őseit a szárazföldi ragadozók ősei közt keresték, kezdve Darwin saját fejtegetésével, amit néha kinevetnek, csak azt nem tudom, miért.

> Észak-Amerikában Hearne megfigyelte, hogy a feketemedve órák hosszat úszott tátott szájjal, és bálna módjára fogta a vízirovarokat. Még az ehhez hasonló rendkívüli esetekben is, ha a rovarállomány állandó lenne, és ha jobban alkalmazkodott vetélytársak nincsenek a vidéken, nem látom akadályát annak, hogy egy olyan medvefaj alakuljon ki a természetes kiválogatódás révén, amely felépítésében és szokásaiban egyre inkább vízi jellegű lenne, egyre növekvő szájjal, míg olyan hatalmas teremtményt nem kapnánk, mint a bálna.
> *(A fajok eredete.* Typotex Kiadó, 2003, 153. o. *Kampis György fordítása)*

Egyébként Darwinnak ez a felvetése jól példázza az evolúció egyik fontos, általános szempontját. A Hearne által látott medve, amely fajára nem jellemző módon táplálkozott, nyilván kísérletező egyed lehetett. Némi asszociatív gondolatmenet révén azt gyanítom, hogy az evolúció fő elágazásai gyakran indulnak így: van egy egyed, amely felfedez egy új és hasznos trükköt, amit tökélyre fejleszt. Aztán, ha a szokást mások is utánozzák, többek közt netán az egyed saját utódai, máris előáll egy új szelekciós nyomás. A természetes kiválasztódás genetikai előnyben fogja részesíteni azokat, amelyek jók az új trükkök megtanulásában, s így újabbak fognak következni. Azt gyanítom, valahogy ekként kezdődtek az olyan „ösztönös" táplálkozási szokások, mint a harkály fakopácsolása vagy a rigók és tengeri vidrák kagylótörése.**

Régebben az őscetek lehetséges elődei iránt a rendelkezésre álló kövületek közt kutakodva a Mesonychida-fajokat részesítették előnyben, a szárazföldi emlősök e népes csoportját, amelyek a paleocén korban, közvetlenül a dinoszauruszok kihalása után virágoztak.

* Az ünnepelt viktoriánus anatómus, Richard Owen megpróbálta a nevet *Zeuglodon*ra módosítani, és Haeckel is követte példáját a 170. oldalon bemutatott leszármazási fáján, de mégsem tudunk szabadulni a *Basilosaurus*tól.

** Az eszmének Baldwin-hatás a neve, jóllehet az ötletet tőle függetlenül Lloyd Morgan ugyanabban az évben, és korábban Douglas Spalding is felvetette. Én Alister Hardy *The Living Stream* (Az élő folyam) című könyvének a kifejtését követem itt, amely valami óta nagy becsben áll a misztikusok és a maradiak között.

Úgy tűnik, a mesonychidek nagyrészt ragadozók, vagy Darwin medvéje módjára mindenevők voltak, és megfeleltek annak, amit – a vízilóelmélet előtt – mindannyian gondoltunk arról, milyennek is kellett lennie a bálna ősének. Az a szép még a Mesonychidákban, hogy patáik voltak. Vagyis patás ragadozó volt, kicsit talán farkasszerű, csak éppen patákon galoppozott.* Akkor hát származhattak tőlük a párosujjú patások és a bálnák is? Sajnos, ez az eszme nem igazán illik a víziló teóriába. A Mesonychidák hiába tűnnek a mai párosujjú patások unokatestvéreinek (amiben hinni a patákon kívül és túl is van okunk), nem állnak közelebb a vízilovakhoz, mint az összes többi hasadtkörmű állathoz. Egyre csak visszajutunk a molekuláris döbbenethez: a bálnák nem csupán unokatestvérei valamennyi párosujjú patásnak, hanem olyannyira közéjük tartoznak, hogy közelebb vannak a vízilovakhoz, mint a víziló a szarvasmarhához és a disznóhoz.

* A félelmetes *Andrewsarchus* is közéjük tartozott.

Mindezt összeszedegetve a következőképp vázolhatunk fel egy előretartó kronológiát. A molekuláris bizonyítékok a tevék (meg a lámák) és a többi párosujjú patás közti szakadást 65 millió évre teszik, többé-kevésbé tehát akkorra, amikor az utolsó dinoszaurusz kimúlt. Azt azonban még véletlenül se gondoljuk, hogy a közös ős kicsit is hasonlított a tevére. Akkoriban az összes emlős nagyjából úgy nézett ki, mint a cickányok. Ám 65 millió éve azok a „cickányok", amelyekből majd a tevék kifejlődtek, elszakadtak azoktól a „cickányoktól", amelyekből majd a többi párosujjú patás kialakult. A disznók és a többi (főként kérődző) párosujjú patás elválására 60 millió éve került sor. A kérődzők és a vízilovak szétválása 55 millió éve történt meg. Aztán a bálna ág nem sokkal ezután, mondjuk 54 millió éve leszakadt a víziló ágról, időt adva ezzel az olyan primitív bálnák 50 millió évvel ezelőtti kialakulásának, mint a félig vízben élő *Pakicetus*. A fogas cetek és a szilás cetek jóval később, körülbelül 34 millió éve váltak ki, abban a korban, amelyből az első szilás cetkövületeket megtalálták.

Talán kissé túloztam, amikor arra céloztam, hogy egy magamfajta hagyományos zoológust mindenképp felzaklat a víziló-bálna kapcsolat felfedezése. De hadd fejtsem ki, miért is voltam elképedve, amikor néhány éve először olvastam róla. Nem csupán arról volt szó, hogy eltért attól, amit diákkoromban tanultam. Ez egyáltalán nem okozott volna fejtörést, sőt, kifejezetten felvillanyozott volna. Ám ami azóta is bizonyos fokig nyugtalanít, az nem más, mint hogy ez mintha aláaknázna minden általánosítást, amit valaki az állatok csoportosításával kapcsolatban szeretne elvégezni. Egy molekuláris taxonómus élete túl rövid ahhoz, hogy módjában állna páronként összevetni valamennyi fajt az összes többi fajjal. Ehelyett azt teszi, hogy vesz mondjuk két-három bálnafajt, és feltételezi, hogy ezek képviselik a bálnák csoportját. Ez egyenlő annak feltételezésével, hogy a bálnák egy kládba tartoznak, vagyis olyan közös ősük van, amelyen nem osztoznak azzal az állatcsoporttal, amellyel az összehasonlítást végezzük. Vagyis más szóval – feltesszük – nem számít, melyik bálnát szemeljük ki az összes többi képviseletében. Hasonlóképpen, minthogy nincs időnk az összes rágcsálófajt vagy mondjuk párosujjú patást megvizsgálni, esetleg egy patkányból és egy marhából veszünk vért.** Nem számít, melyik párosujjú patást vetjük össze a bálnák képviselőjével, hiszen – ismétlem – feltételezzük, hogy a párosujjú patás rendes klád, így mindegy, hogy egy marhát, egy disznót, egy tevét vagy egy vízilovat veszünk-e.

** Valójában az emlősök esetében a vér nem a legjobb DNS-forrás, mert a gerincesek között meglehetősen szokatlanul, vörösvértestjeiknek nincsen sejtmagjuk.

Ám most azt állítják, hogy igenis számít. A tevevér és a vízilóvér összehasonlítása a bálnavérrel valóban eltérő eredményt hoz, mivel a vízilovak közelebbi uno-

katestvérei a bálnáknak, mint a tevéknek. Nézzük csak, hová juttat ez bennünket! Ha nem bízhatunk benne, hogy a párosujjú patások egy csoportba tartoznak, amelyet bármelyikük képviselhet, hogyan lehetünk biztosak bármely csoport összetartozásában? És azt vajon feltételezhetjük, hogy a vízilovak annyira összetartoznak, hogy mindegy, egy törpevízilovat vagy egy közönséges vízilovat szemelünk-e ki a bálnákkal való összehasonlításra? Mi van akkor, ha a bálnák közelebb állnak a törpevízilóhoz, mint a közönséges vízilóhoz? Valójában ezt kizárhatjuk, mert a fosszilis bizonyítékok arra utalnak, hogy a két vízilónem körülbelül akkoriban vált külön, mint mi a csimpánzoktól, és ez tényleg nagyon kevés időt hagy arra, hogy kialakulhatott volna a sokféle bálna- és delfinfaj.

Nagyobb gond, hogy vajon az összes bálna összetartozik-e. Első ránézésre nagyon is elképzelhető, hogy a fogas cetek és a szilás cetek két különböző módon tértek vissza a szárazföldről a tengerbe. És valóban: a kutatók gyakran adnak hangot éppen ennek a lehetőségnek. Azok a molekuláris taxonómusok, akik kimutatták a víziló-kapcsolatot, nagyon bölcsen vettek DNS-t mind a fogas cetektől, mind a szilás cetektől. Megállapították, hogy a két bálna valóban sokkal közelebbi unokatestvérei egymásnak, mint a vízilónak. De újból csak felvetődik: honnan tudjuk, hogy a „fogas cetek" csoportként együvé tartoznak? És ugyanígy a „szilás cetek"? Meglehet, minden szilás cet rokona a vízilónak, csak a csukabálna nem, amely a hörcsög rokona. Nem, nem hiszem, hogy így van, mert szerintem a szilás cetek valóban egységes kládot alkotnak, és olyan közös ősük volt, amelyen nem osztoznak semmivel, ami nem szilás cet. De láthatjuk már, miként ingatja meg a víziló/bálna felfedezés a bizalmat?

Visszaszerezhetnénk a bizalmunkat, ha meg tudnánk indokolni, hogy a bálnák miért lehetnek különlegesek ebben a vonatkozásban. Ha a bálnák a megdicsőült párosujjú patások, akkor olyan párosujjú patások, amelyek hirtelen húztak el – mármint evolúciós fogalmakkal hirtelen –, s lehagyták a többi párosujjú patást. Legközelebbi unokatestvéreik, a vízilovak viszonylag változatlanok maradtak mint rendes, tiszteletre méltó párosujjú patások. Valami történt a bálnák történetében, ami evolúciós gyorsító pályára pöckölte őket. Annyival gyorsabban fejlődtek a többi párosujjú patásnál, hogy a csoporton belüli eredetük elhomályosodott, míg meg nem érkeztek a molekuláris taxonómusok, s fel nem tárták azt. Szóval mi a különös a bálnák történetében?

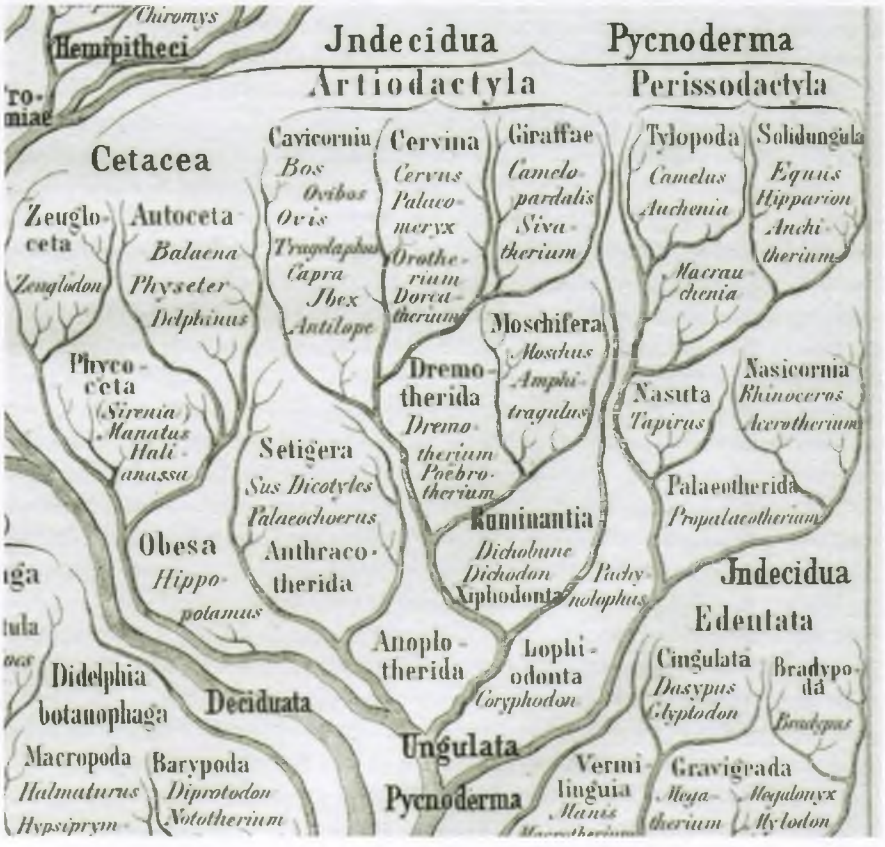
Amikor az ember ezt így leírja, a megoldás leugrik a lapról. A szárazföld elhagyása és a teljes vízi életmódra váltás kicsit olyan volt, mint az űrutazás. Az űrben súlytalanok vagyunk (egyébként nem azért, mert eltávolodtunk a Föld tömegvonzásától, hanem mert szabadon esünk, mint az ejtőernyősök, mielőtt meghúzzák az oldózsinórt). A bálna lebeg. Ellentétben a fókával vagy a teknőssel, amelyek még mindig kijönnek a szárazföldre szaporodni, a bálna soha nem szakít a lebegéssel. Soha nem kell megküzdenie a gravitációval. A víziló a vízben tartózkodik, de azért a szárazföldön szüksége van az orra, a fatörzsnyi lábakra és az erős lábizmokra. A bálnának egyáltalán nincs szüksége lábakra, így nincs is neki. Képzeljük el úgy a bálnát, mint amivé a víziló szeretne válni, ha meg tudna szabadulni a gravitáció zsarnokságától. És persze még annyi egyéb furcsasága van annak, ha valami az egész életét a tengerben tölti, hogy most már egyre kevésbé tűnik meglepőnek, hogy a bálnaevolúciónak meg kellett ugrania, mint ahogy történt is, hátrahagyva a vízilovakat, amelyek ottrekedtek a

szárazföldön és a párosujjú patások között. Ez arra utal, hogy indokolatlanul voltam vészkakas néhány bekezdéssel fentebb.

Nagyjából ugyanez történt az ellenkező irányban, 300 millió évvel korábban, amikor hal őseink a vízből a szárazföldre léptek. Ha a bálnák megdicsőült vízilovak, akkor mi megdicsőült tüdős halak vagyunk. A lábatlan bálnák kiemelkedése a párosujjú patások közül, „hátrahagyva" a többi párosujjú patást, nem szükségszerűen meglepőbb, mint a négylábú szárazföldi állatok kiemelkedése a halak egy bizonyos csoportjából, miközben ők is „hátrahagyták" azokat a halakat. Legalábbis én így dolgozom fel a víziló-bálna kapcsolatot, és nyerem vissza megingott zoológiai lélekjelenlétemet.

Utóhang a víziló meséjéhez

Zoológiai lélekjelenlétemet elfújta a szél. Már a végső simításoknál tartottunk e könyvön, amikor a következőre hívták fel a figyelmemet. 1866-ban Ernst Haeckel, a nagy német zoológus felrajzolta az emlősök vázlatos evolúciós fáját. Gyakran láttam ezt a fát a zoológiatörténetekben, de korábban soha nem figyeltem föl a bál-



Semmi sem új a nap alatt
Ernst Haeckel 1866-ban kiadott [119] emlősevolúciós fájának részlete, amely a vízilovakat a bálnák közeli rokonainak mutatja.

nák és a vízilovak elhelyezésére Haeckel vázlatán. A bálnák a Cetacea rendbe sorolva, ahogy ma is, ám Haeckel előrelátóan a párosujjú patások közé helyezte őket. Ám az igazán megdöbbentő az, hová helyezte a vízilovakat. Az egyáltalán nem hízelgő „Obesa" (dagadt) nevet adta nekik, és nem a párosujjú patások, hanem egy kis, a Cetaceához vezető apró gallyra biggyesztette őket.* Heackel a vízilovakat a bálnák testvércsoportjaként sorolta be: felfogása szerint a vízilovak közelebb vannak a bálnákhoz, mint a disznókhoz, és mindhárom közelebb áll egymáshoz, mint a marhákhoz.

* Haeckelnek azonban nem mindenben volt igaza. A szirén dugongokat és manátuszokat a bálnákhoz sorolta.

> ...semmi sem új a nap alatt. Ha azt mondják valamire: „Lám ez új", az is rég megvolt azokban az időkben, amelyek előttünk voltak.
> PRÉDIKÁTOR KÖNYVE 1,9–10

A FÓKA MESÉJE

A legtöbb vadállat-populációban a hím- és nőnemű egyedek száma közel azonos, ami nyomós darwinista okokra vezethető vissza. Tisztán látta ezt R. A. Fisher, a nagy statisztikus és evolúciógenetikus. Képzeljünk el egy olyan populációt, amelyben a számok egyenlőtlenek. Itt a ritkábbik nem egyedei átlagban szaporodási előnyhöz jutnak a gyakoribb nem egyedeivel szemben. Ez nem amiatt van, mert keresettebbek, és könnyebben találnak párt (bár mellékes okként ez is számításba jöhet). Fisher okfejtése mélyebb, és árnyalt gazdasági szemponttal bír. Tegyük fel, hogy egy populációban kétszer annyi a hím, mint a nőstény. Itt – mivel minden újszülöttnek pontosan egy apja és egy anyja van –, ha minden más tényező változatlan, akkor az átlagos nőnemű egyednek kétszer annyi utódjának kell lennie, mint az átlagos hímneműnek, és ellenkezőleg, ha a nemek aránya fordított. Ez pusztán annak a kérdése, hogy elosztjuk a meglévő utódokat a meglévő szülők között. Így fordít a természetes szelekció azonnal az ellenkezőjére a szülők részéről mutatkozó minden az irányú tendenciát, hogy előnyben részesítsék a fiú utódokat a leányokkal szemben. A nemek egyedüli szilárd aránya az 50-50 százalék.

Ám a dolog mégsem ilyen egyszerű. Fisher gazdasági árnyalattal színezte okfejtését. Mi van akkor, ha mondjuk kétszer annyira költséges egy fiú felnevelése, mint egy lányé, feltehetően azért, mert a hímek kétszer akkorák? Nos ez esetben az érvelés módosul. Az a lehetőség, amellyel a szülő szembesül, többé nem az, hogy „Vajon fiam vagy lányom legyen-e?", hanem „Vajon egy fiam, vagy – ugyanazon az áron – két lányom legyen-e?". A népességben a nemek arányának egyenlege most kétszer annyi nőstényt, mint hímet mutat. Azok a szülők, akik ritkaságuknál fogva részesítik előnyben a fiú utódot, azzal szembesülnek, hogy előnyüket a hím felnevelésének többletköltségei alaposan aláaknázzák. Fisher előrebocsátotta, hogy természetes szelekció által kiegyensúlyozott valódi nemi arány nem a hímeknek a nőstényekhez viszonyított aránya, hanem a fiak felneveléséhez és a lányok felneveléséhez szükséges gazdasági ráfordítások aránya. De vajon mit jelent a gazdasági ráfordítás? Élelmet? Időt? Kockázatot? Igen, a gyakorlatban ezek valószínűleg mind fontosak, és Fisher számára a ráfordítás eszközlői mindig a szülők voltak. Ám a közgazdászoknak van egy általánosabb kifejezésük a költségre, a haszonáldozati

költség *(opportunity cost)*. A szülő számára egy gyermek vállalásának igazi költségét az a veszteség méri, amely más gyerekek vállalásának elveszített lehetőségéből fakad. Fisher ezt a haszonáldozati költséget szülői ráfordításnak nevezi. Szülői beruházás néven ugyanezt az eszmét használja Robert R. Trivers, Fisher ragyogó elméjű követője a nemi szelekció megvilágítására. Trivers elsőként értette meg világosan a szülő-utód konfliktus figyelemre méltó jelenségét abban az elméletben, amelyet a hasonlóan kiváló David Haig meghökkentő irányba fejlesztett tovább.

Újfent, és azt kockáztatva, hogy untatom az alapvető filozófiai tanulmányoknak híján nem lévő olvasóimat, még egyszer hangsúlyoznom kell, hogy az általam használt célzatos nyelvezetet nem szó szerint kell érteni. A szülők nem ülnek le, hogy megbeszéljék, fiuk vagy lányuk legyen-e. A természetes kiválasztódás úgy részesíti előnyben az élelmiszerre vagy egyéb erőforrásokra irányuló befektetésekkel kapcsolatos genetikai tendenciáknak, vagy úgy hátráltatja őket, hogy azok végül az egész tenyészpopuláció szintjén a fiúkra vagy lányokra irányuló egyenlő vagy egyenlőtlen szülői ráfordításokat eredményezzenek. A gyakorlatban ez gyakran a populáción belül azonos számú hím- és nőnemű egyedszámra vezet.

Ám mi a helyzet azokban az esetekben, ahol egy hím kisebbség háremben tartja a nőnemű többséget? Ellentmond-e ez Fisher várakozásainak? Vagy azokban az esetekben, amikor a hímek egy „lek" keretében parádéznak a nőneműek előtt, akik végigmustrálják őket, hogy kiválasszák a nekik tetszőt? A legtöbb nőneműnek ugyanaz a kedvence, így a végeredmény ugyanaz, mint a hárem esetében: poligínia (többnejűség) – vagyis a kiválasztott hím kisebbség aránytalan hozzáférése a nőneműek többségéhez. Ez a hím kisebbség lesz a következő generáció többségének az apja, míg a többi hím agglegényként tengődik. Megsérti a poligínia Fisher várakozásait? Meglepő módon nem. Fisher továbbra is a fiúkra és lányokra fordított azonos beruházásra számít, és igaza van. A hímek esetleg kevésbé számíthatnak a szaporodásra, de ha szaporodnak, akkor aztán nagyon. Nem valószínű, hogy a nőnemű egyedek utód nélkül maradnak, de az sem, hogy nagyon sok utódjuk lesz. Még a szélsőséges poligínia körülményei között is kiegyenlítődnek a számok, és Fisher elve érvényes marad.

A poligínia néhány legszélsőségesebb esetével a fókák között találkozunk. A fókák gyakran hatalmas fókatelepeket alkotva kimennek a partra párosodni, ahol heves szexuális és agresszív tevékenység zajlik. A kaliforniai zoológus, Burney LeBoeuf híres elefántfóka-tanulmánya szerint a megfigyelt közösülések 88 százalékát a hímek 5 százaléka hajtotta végre. Nem csodálhatjuk a többi hím kielégületlenségét, és az sem csoda, hogy az elefántfókák harcai a legádázabbak közé tartoznak az állatvilágban.

Az elefántfókákat az ormányukról nevezték el (amelyek rövidek az elefántokéhoz képest, és csak a társas viselkedésben használatosak), de testméretük alapján éppúgy kiérdemelnék e nevet. A déli elefántfókák akár 3,7 tonnát is nyomhatnak, többet, mint némely elefánttehén. Ám csak a bikák érik el ezt a súlyt, és éppen ez az egyik központi témája a mesének. Az elefántfóka-tehenek általában nem érik el a bikák súlyának a negyedét sem, amelyeket borjaikkal együtt rendszeresen lapítanak agyon a harc közben egymásnak rontó bikák.*

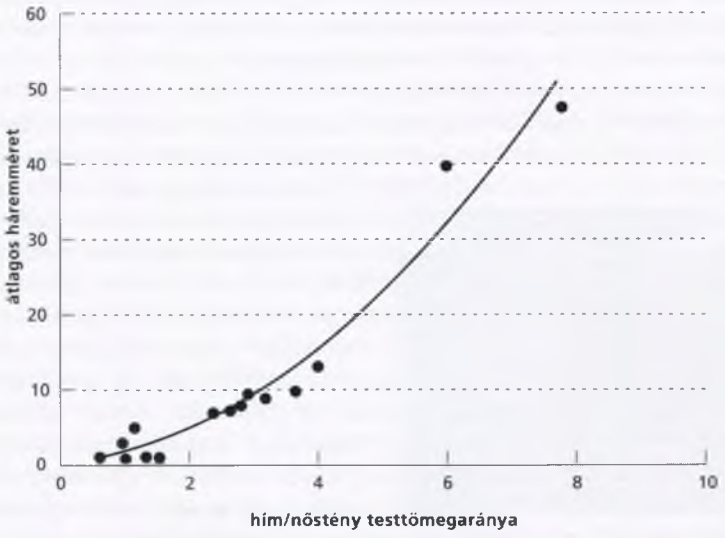
Miért ennyivel nagyobbak a bikák a teheneknél? Azért, mert a nagy méret segít nekik a háremszerzésben. A legtöbb fiatal fóka, bármilyen nemű is, egy háremet szerző óriás bikától születik, nem pedig egy kisebb hímtől, amelyenek nem sikerült a háremszerzés. A legtöbb fiatal fóka, bármilyen nemű is, egy viszonylag kis terme-

* Ne lepődjünk meg azon, hogy a fókabikák saját fajuk borjait lapítják agyon. Valamely szétlapított borjú nem nagyobb valószínűséggel az övék, mint valamely rivális bikáé. Ezért nem lép fel darwinista szelekció a szétlapítással szemben.

tű anyától születik, amelynek mérete a borjak megszüléséhez és felneveléséhez optimális, nem pedig küzdelmek megnyeréséhez.

A hím- és női tulajdonságok eltérő optimalizálása a gének kiválasztódásán keresztül érvényesül. Az emberek olykor meglepődve hallják, hogy az érintett gének mindkét nemben jelen vannak. A természetes kiválasztódás az úgynevezett nemhez kötött géneknek kedvezett. A nemhez kötött gének mindkét nemben megvannak, de csak az egyikben kapcsolnak be. Például azok a gének, amelyek így szólnak a fejlődő fókacsemetéhez, „Ha hím vagy, nőj nagyon nagyra, és harcolj!", éppen annyira előnyösek, mint amelyek ezt mondják: „Ha nő vagy, kicsire nőj, és ne harcolj!" Mindkét géntípus továbbadódik a fiakba és a lányokba is, de mindegyik csak az egyik nemben fejeződik ki, a másikban nem.

Ha végigtekintünk az emlősökön, egy általános jelenséget veszünk észre. A szexuális dimorfizmus – ami a hímek és nőstények közti nagy különbséget jelenti – általában a poligíniát gyakorló fajokra a legjellemzőbb, különösen azokra, amelyek hárem típusú társadalomban élnek. Mint láttuk, ennek alapos elméleti oka van, ahogy azt is, hogy ezen a vonalon a fókák és oroszlánfókák jutottak a legmesszebbre.



A szexuális dimorfizmus és a háremméret kapcsolata. Alexander et al. [5] alapján.

A grafikon a Michigani Egyetem kiváló zoológusa, Richard D. Alexander és munkatársai tanulmányából származik. Mindegyik pont egy-egy fóka- vagy oroszlánfókafajnak felel meg, és láthatjuk, milyen szoros kapcsolatban áll a szexuális dimorfizmus és a háremméret. Szélsőséges esetekben, így például a déli elefántfókáknál és az északi oroszlánfókáknál, amelyeket a grafikon tetején lévő két pont képvisel, a hímek súlya akár hatszorosa is lehet a tehenekének. Elég az hozzá, hogy ezeknél a fajoknál a sikeres hímeknek – amelyek enyhén szólva kisebbséget alkotnak – hatalmas háremük van. Két szélsőséges eset alapján nem vonhatunk le általános következtetéseket. Ám a fókákra és elefántfókákra vonatkozó ismert adatok statisztikai elemzése megerősíti, hogy a látni vélt tendencia valós (a véletlenszerű hatás esélye 5000 az 1-hez). Ugyanebbe az irányba mutató, gyengébb bizonyítékokkal rendelkezünk a patások, a majmok és az emberszabásúak világából is.

Ennek evolúciós magyarázatát megismételve, a hímek a más hímekkel folytatott harcban rengeteget nyerhetnek, és ugyancsak rengeteget veszíthetnek. A legtöbb, bármilyen nemű egyed olyan hím ősök hosszú sorától származik, amelyeknek sikerült háremet szerezniük, és olyan nőstények hosszú sorától, amelyek e háremekbe tartoztak. Ezért a legtöbb egyed, akár hím, akár nőstény, és akár nyertesek, akár vesztesek lesznek, a hím testek háremnyerését segítő és a nőstény testeknek a háremhez csatlakozását elősegítő genetikai berendezést örökölnek. A méret nagy nyereménnyel jár, és a sikeres hímek valóban igen nagyok lehetnek. Ezzel szemben a nőstények keveset nyerhetnek a más nőstényekkel való marakodásból, így csupán akkorák, amekkorának a fennmaradáshoz és ahhoz kell lenniük, hogy jó anyák legyenek. Mindkét nem egyedei öröklik azokat a géneket, amelyek a nőstényeket harcot kerülőkké, jó anyákká és a gyermeknevelésre összpontosítóvá faragja. Mindkét nem egyedei öröklik azokat a géneket, amelyek a hímeket más hímekkel viaskodóvá teszik, akár annak az időnek az árán is, amit az utódnevelésben való segédkezésre fordíthattak volna. Ha a hímek pénzfeldobással el tudnák simítani vitáikat, akkor az evolúciós idő során feltehetően a nőstények méretére vagy még kisebbre zsugorodnának, hatalmas, átfogó gazdasági megtakarításokat érve el ezzel, s idejüket a gyereknevelésnek szentelhetnék. Többlettömegük – amelynek felépítése és fenntartása a szélsőséges esetekben rengeteg élelmet igényel – az az ár, amit a többi hímmel folytatott harcért fizetnek.

Természetesen nem minden faj olyan, mint a fókák. Sokan monogámok, és a nemek sokkal jobban hasonlítanak egymásra. Azok a fajok, amelyeknél a nemek azonos méretűek, néhány, a lovakhoz hasonló kivételtől eltekintve, általában nem tartanak háremet. Azok a fajok, amelyeknél a hímek jelentősen nagyobbak a nőstényeknél, általában tartanak háremet, vagy a poligínia egyéb formáit űzik. A legtöbb faj, feltehetően eltérő gazdasági körülményeik függvényében vagy poligin, vagy monogám. A poliandria (többférjűség, az egynél több hímmel párban élő nőstény) ritkaság. Legközelebbi rokonaink közül a gorilláknak háremre épülő szaporodási rendszere van, a gibbonok viszont hűséges monogámok. Ezt szexuális dimorfizmusuk meglétéből, illetve hiányából is kitalálhattunk volna. Egy nagy hím gorilla kétszer olyan súlyos, mint egy átlagos nőstény, míg a gibbon hímek és nőstények mérete nagyjából megegyezik. A csimpánzok jobbára válogatás nélküli promiszkuitásban élnek.



A MÉRET ELŐNYT JELENT
Hím és nőstény déli elefántfóka *(Mirounga leonina)*

Vajon mondhat-e nekünk *A fóka meséje* valamit saját, természetes párosodási rendszerünkről, mielőtt a civilizáció és a szokások elmosták volna a nyomokat? Szexuális dimorfizmusunk mérsékelt, de tagadhatatlan. Sok nő magasabb sok férfinál, de a legmagasabb férfi magasabb a legmagasabb nőnél. Sok nő gyorsabban fut, nehezebb súlyt emel fel, messzebbre hajítja a gerelyt, jobban teniszezik, mint sok férfi. Ám az embereknél, a versenylovakkal ellentétben, az alapvető szexuális dimorfizmus kizárja a különböző neműek mérkőzését csaknem minden sportág legfelsőbb szintjein. A testileg legmegerőltetőbb sportokban a világ első száz férfijának bármelyike legyőzné az első száz nő bármelyikét.

Még ha így van is, a fókákhoz vagy sok más állathoz képest dimorfizmusunk igen enyhe. Kisebb, mint a gorilláké, de nagyobb, mint a gibbonoké. Talán enyhe dimorfizmusunk azt jelenti, hogy női őseink olykor monogámiában, máskor kisebb háremekben éltek. A modern tudósok nézetei annyira eltérőek, hogy találnánk példákat szinte bármelyik előfeltevés alátámasztására. G. P. Murdock 1967-ben kiadott *Etnográfiai atlasz*a merész összeállítás. A világ minden részéről 849 emberi társadalom adatait sorakoztatja föl. Ebből remélhetjük összeszámlálni a háremet megengedő társadalmakat, szemben a monogámiát erőltetőkkel. A társadalmak számbavételével az a gond, hogy ritkán egyértelmű, hol húzzuk meg a határokat, vagy hogy mi számít függetlennek. Ez megnehezíti a megfelelő statisztika elkészítését. Az atlasz azonban a maga részéről mindent megtesz ezért. A 849 társadalomból 137 monogám (16 százalék), négyben van poliandria (kevesebb mint 1 százalék), és szilárd 83 százalék esetében (708) poligínia (a férfiaknak egynél több feleségük lehet). A 708 poligin társadalom egyenlő arányban oszlik két csoportra: az egyikben a társadalom szabályai engedélyezi ugyan a poligíniát, ám a gyakorlatban mégis ritka, a másikban pedig ez a norma. Hogy könyörtelenül pontosak legyünk: a „norma" természetesen a nők esetében háremtagságot, a férfiaknál háremszerzési törekvést jelent. A dolog természetéből adódóan egyenlő számú férfi és nő esetén a férfiak többsége kimarad. Némelyik kínai és török szultán hárème az elefántfókák és oroszlánfókák legmerészebb rekordjait is megdöntötte. Testi dimorfizmusunk mégis kismérvű, ha összevetjük a fókákéval és talán ugyancsak – bár a bizonyítékok vitatottak – az *Australopithecus*okkal. Azt jelentené ez, hogy az *Australopithecus* főnököknek még a kínai császárokénál is nagyobb háremeik voltak?

Nem. Az elméletet nem alkalmazhatjuk naivan. A szexuális dimorfizmus és a háremméret között csak laza összefüggés van. A testméret pedig csak egyik jelzője a versengő erőnek. Az elefántfókáknál a hím nagysága feltehetően azért fontos, mert a többi hímmel folytatott testi küzdelemben egymást marva és zsírjuk puszta tömegénél fogva szerzik meg háremüket. A nagyság talán a hominidáknál sem elhanyagolható. Ám bármifajta olyan erőkülönbség átveheti a testméret helyét, amely képessé tesz egy hímet aránytalan számú nő kézben tartására. Sok társadalomban a politikai befolyás tölti be ezt a szerepet. Ha a főnök barátja vagy – sőt jobbik esetben, ha te vagy a főnök –, megnő a hatalmad: lehetővé teszi, hogy megfélemlítsd a vetélytársaidat, ahogy egy hatalmas fókabika fizikailag megfélemlíti a kisebbet. Aztán a gazdasági jólét terén is hatalmas egyenlőtlenségek lehetnek. Az ember nem küzd a feleségekért, hanem megveszi őket. Vagy katonákat fizet, hogy harcoljanak helyette. A szultán vagy a császár lehet akármilyen nyápic, mégis nagyobb háremet képes biztosítani, mint bármelyik fókabika. Arra akarok kilyukadni, hogy még ha az *Australopithecus*ok méretbeni dimorfizmusa nagyobb is volt a miénknél, mindenesetre evolúciónk bizonyára nem távolodhatott el magától a poligíniától. Esetleg csupán a hímek versengésében használatos fegyverek cseréjéről van szó: a puszta méretet és a nyers erőt felváltotta a gazdasági hatalom és a politikai megfélemlítés. Vagy persze az is meglehet, hogy az eredetibb szexuális egyenlőség felé mozdultunk el.

Azok számára, akik viszolyognak a szexuális egyenlőtlenségtől, vigasztaló remény, hogy – a nyers erőre épülő poligíniától eltérően – a kulturális poligíniától elég könnyen meg lehet szabadulni. Látszólag úgy tűnik, ez történt azokban a társadalmakban, így a (nem mormon) keresztény társadalmakban, amelyek hivatalosan monogámmá

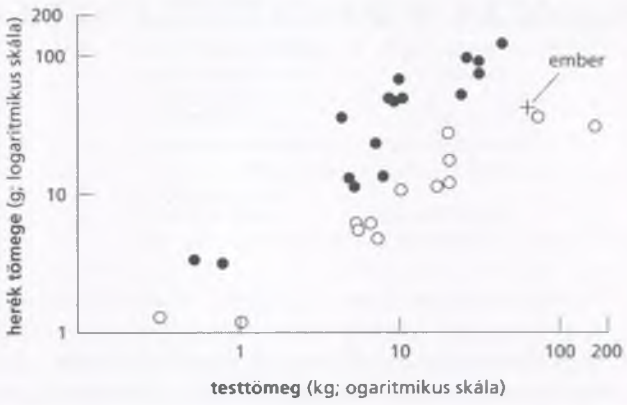
váltak. Azért mondom, hogy „látszólag" meg „hivatalosan", mert akad némi bizonyíték arra is, hogy a látszólag monogám társadalmak nem egészen azok, mint aminek látszanak. Laura Betzig, a némi darwinista beütéssel felruházott történész zavarba ejtő bizonyítékait tárta fel annak, hogy az olyan nyíltan monogám társadalmak, mint az ókori római vagy a középkori európai, valójában poliginek voltak a felszín alatt. Egy gazdag nemes- vagy földesúrnak csak egy törvényes felesége lehetett ugyan, de női rabszolgákból, cselédekből, valamint jobbágyaik feleségeiből és lányaiból *de facto* háremet tartott. Betzig más idézett bizonyítékai szerint igaz volt ez még az elvileg nőtlen papokra is.

Ezek a történelmi és antropológiai tények, a mérsékelt szexuális dimorfizmussal karöltve néhány tudós szerint arra utalnak, hogy poligin szaporodási rendszerben alakultunk ki. Ám a biológia nem csupán a szexuális dimorfizmust adja kezünkbe kulcsként. Egy másik érdekes jelzés a múltból a herék mérete.

Legközelebbi rokonainknak, a csimpánzoknak és a bonobóknak rendkívül nagyok a heréik. Ők nem poliginek, mint a gorillák, és nem is monogámok, mint a gibbonok. Az ivarzó nőstény csimpánzok rendesen több hímmel közösülnek. Ez a promiszkuus párosodási minta nem poliandria, amely egy nő több férfival kialakított tartós kötelékeit jelenti. Ugyanakkor nem utal semmiféle egyszerű szexuális dimorfizmus mintára sem. Roger Short brit biológus számára azonban felvetette a hatalmas herék magyarázatát: a csimpánzgének olyan spermiumokon keresztül öröklődtek nemzedékről nemzedékre, amelyeknek több hím riválisa spermáival ugyanazon nőstényen belüli versengésben kellett ezt a lehetőséget kivívni. Egy ilyen világban a spermiumok puszta száma számít igazán, ez pedig nagy heréket követel. A hím gorilláknak ezzel szemben kis heréik vannak, viszont széles vállaik és hatalmas, öblös mellkasuk. A gorillagének a versengést a hímek küzdelme és melldöngető fenyegetése révén bonyolítják le, amelyek kiváltják a spermiumok ezt követő, nőstényeken belüli versengését. A csimpánzok a spermium megbízottak révén, vaginán belül tusakodnak.

Kollégám, Paul Harvey több közreműködővel, így Roger Shorttal együtt a majmoktól és emberszabásúaktól nyert bizonyítékok összevetésével próbára tették az elgondolást. Kiválasztottak húsz főemlősnemet, és megmérték a heréiket. Vagyis, valójában bementek a könyvtárba, és összegyűjtötték a herék tömegéről megjelentetett adatokat. A nagy állatoknak nyilván általában nagyobb a heréje, mint a kicsiknek, így ezt be kellett számítani. Módszerük megegyezett *Az ezermester meséjé*ben az agyakkal kapcsolatban bemutatottal. Minden majom- vagy emberszabásúnemet a heretömeget és a testtömeget megjelenítő grafikonon ábrázoltak, és *Az ezermester meséjé*ben megismerttel azonos okból mindkettőnek a logaritmusát vették. A pontok egy egyenes mentén csoportosulnak az alul lévő fehér selyemmajomtól a fenti gorilláig. Akárcsak az agyaknál, itt is az volt az érdekes kérdés, melyik fajnak vannak a testéhez képest viszonylag nagy heréi, és melyiknek kisebbek. A vonal körül eloszló pontok közül melyek esnek a vonal fölé, és melyek alá?

Az eredmény sokatmondó. A fekete pontok azoknak az állatoknak felelnek meg, amelyeknél a csimpánzokhoz hasonlóan a nőstények több hímmel párosodnak, és ahol ennek következtében valószínűleg a spermiumok vetélkednek. Magukat a csimpánzokat a legfelső fekete pont jelöli. Az üres karikák azokat az állatokat jelölik, amelyek szaporodási rendszere nem jár sok spermiumversengéssel, akár azért, mert háremes szaporodásuk van, mint a gorillának (üres karika a jobb szélen), akár mert hűséges monogámok, mint a gibbonok.



A HERÉK TÖMEGE ÉS A TESTTÖMEG KAPCSOLATA
Harvey és Pagel [132] alapján

Az üres karikák és a fekete pontok elkülönülése kielégítő.* Úgy tűnik, a spermiumversengés elmélete megerősítést nyert. És most természetesen szeretnénk tudni, mi hová esünk a grafikonon. Mennyire nagyok a heréink? Grafikonon elfoglalt helyzetünk (lásd a kis keresztet) az orangután közelében van. Úgy tűnik, inkább az üres körökkel alkotunk egy csoportot, semmint a fekete pacákkal. Nem vagyunk olyanok, mint a csimpánzok, és evolúciótörténetünkben feltehetően nem kellett sok spermaversengéssel megbirkóznunk. Ám ez a grafikon semmit sem mond arról, hogy evolúciós múltunk szaporodási rendszere a gorilláéhoz (hárem) vagy a gibboné hoz (hűséges monogámia) hasonlított-e. Ez visszaküld bennünket a szexuális dimorfizmushoz és az antropológiához, amelyek egyaránt enyhe poligíniára – a hárem iránti kisebb hajlamra – utalnak.

Ha valóban bizonyítékunk van arra, hogy közelmúltbeli evolúciós őseink enyhén poliginek voltak, remélem, szükségtelen mondanom, hogy ezt nem szabad semmilyen irányú erkölcsi vagy politikai álláspont igazolására felhasználni. Egy 'van'-ból nem lehet 'kell', mondják unos-untalan. Mindazonáltal ez esetben igaz. Siessünk tovább a következő találkozásunkra.

* Az effajta grafikonoknál fontos, hogy csak egymástól független adatokat szerepeltessünk, különben helytelenül megnöveljük az eredményt. Harvey és kollégái úgy igyekeztek ezt a veszélyt elkerülni, hogy fajok helyett nemeket hasonlítottak össze. Jó lépés ez a helyes irányba, de az igazi megoldás az, amire Mark Ridley buzdított az *Explanation of Organic Diversity* (A szerves sokféleség magyarázata) című művében, s amit Harvey is teljesen elfogad: nézzük meg magát a családfát, és ne a fajokat, még csak ne is a nemeket számoljuk, hanem inkább a szóban forgó tulajdonságok egymástól független evolúcióját.

12. TALÁLKOZÁS ■ VENDÉGÍZÜLETESEK

12

A mintegy 95 millió évvel ezelőtt a 35 milliomodik ősszülőnk idejére eső 12. találkozáson futunk össze a vendégízületes zarándokokkal. Dél-Amerikából érkeznek, amely akkoriban viszonylag nemrégen szakította el magát Afrikától, s egy roppant nagy sziget volt – pontosan az a fajta dolog, amely kedvez a sajátos fauna kialakulásának. A vendégízületesek, ahova a tatuk, lajhárok és hangyászok, valamint kihalt rokonaik tartoznak, meglehetősen furcsa emlőscsoport. Nevük csigolyáik egymáshoz kapcsolódásának sajátos módjára utal: ágyékcsigolyáik között több ízület található, amelyek a sokuk által űzött ásáshoz erősítik meg a hátgerincet. A hangyászok közül csak a dél-amerikaiak vendégízületesek. Más emlősök, így a tobzoska és a fokföldi földimalac is hangyát esznek, s így pikkelyes hangyásznak, illetve hangyamedvének is nevezik őket. Valamennyi „hangyászt" éppúgy lehetne termeszevőnek is nevezni, mert igen kedvelik a termeszeket.

A vendégízületesek Dél-Amerikáról szóló meséjét ezúttal a tatu mondja el. A mese szót ejt majd a vendégízületesek változatosságáról is.

A TATU MESÉJE

Zoológiai szempontból Dél-Amerika egyfajta óriási Madagaszkár. Madagaszkárhoz hasonlóan ez is Afrikáról szakadt le, csak éppen nem a keleti, hanem a nyugati oldaláról, körülbelül vele egy időben vagy kicsit később. Ugyancsak Madagaszkárhoz hasonlóan, az emlősök evolúciójának java részében Dél-Amerika is el volt vágva a világ többi részétől. Ez a csupán mintegy 3 millió évvel ezelőtt véget ért hosszú elkülönülés Dél-Amerikát egy óriási természeti kísérleti tereppé változtatta, amely páratlan és elragadó emlősfaunában csúcsosodott ki. Ausztráliához hasonlóan, de Madagaszkártól eltérően Dél-Amerika faunája bővelkedett erszényesekben. Dél-Amerika esetében az erszényesek töltötték be a ragadozók ökológiai helyeit (niche). Ausztráliával ellentétben Dél-Amerikában számos méhlepényes (nem erszényes) emlős is volt, köztük a tatuk és más vendégízületesek, valamint számos, mára kihalt, sajátosan dél-amerikai „patás", amelyek a világ többi részének párosujjú és páratlanujjú patásaitól teljesen függetlenül alakultak ki.

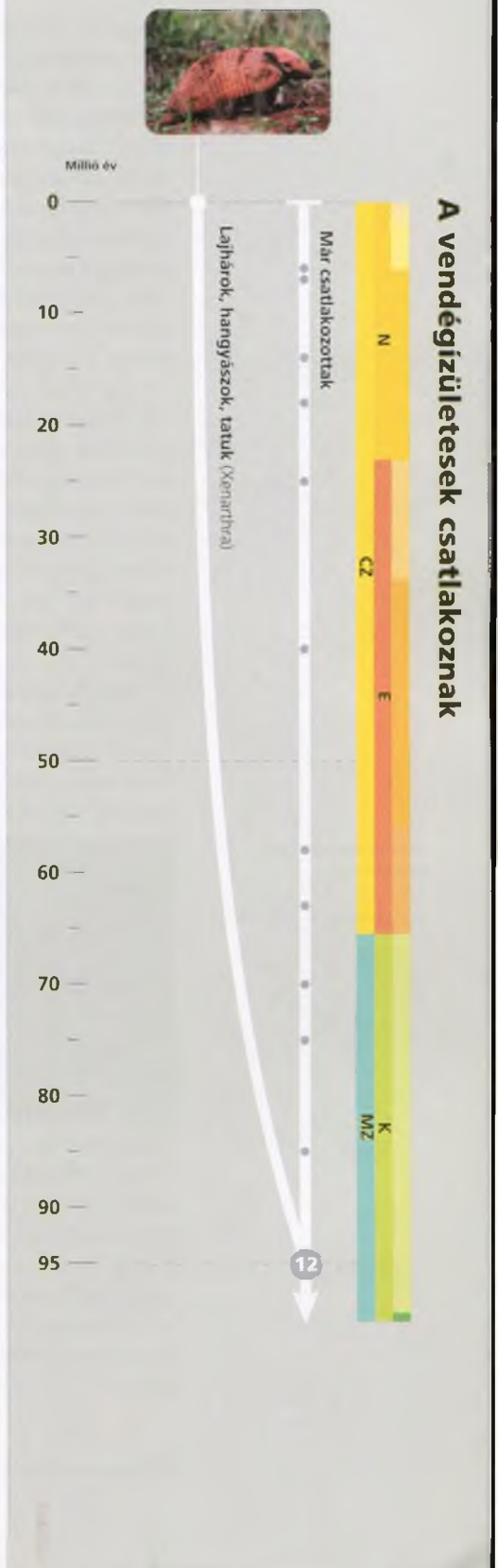
Már láttuk, hogy a majmok és a rágcsálók talán két külön tutajozással kerültek Dél-Amerikába, jóval azután, hogy a kontinens elszabadult Afrikától. Amikor a majmok és a rágcsálók megérkeztek, olyan kontinenst találtak, amelyet már sűrűn benépesítettek

A VENDÉGÍZÜLETESEK CSATLAKOZNAK
A molekuláris biológusok által azonosított négy fő emlőscsoportból a két legkorábbi elágazás az afrikaiaké (lásd a 13. találkozást) és a dél-amerikai vendégízületeseké (a lajhárok, hangyászok és tatuk körülbelül 30 faja). Feltehetőleg további adatok esetleg megfordíthatják a 12. és 13. találkozás sorrendjét, de itt én a jelenlegi közmegegyezést követem.

KÉP: hatsávos tatu *(Euphractus sexcinctus)*

a sajátos emlősök. Ezek az „öregfiúk", a nagy amerikai zoológus, G. G. Simpson *Splendid Isolation* (Fényes elszigeteltség) című könyvéből kölcsönözve, három fő csoportba sorolhatók. A vendégízületesek az egyik, aztán volt néhány erszényes, amelyekre később visszatérünk. A többi öregfiút kissé szabadon patásoknak nevezhetjük. Mint azt a 11. találkozásnál láttuk, taxonómiailag a „patás" nem pontos kifejezés. A dél-amerikai öregfiúk ugyanúgy növényevők voltak, mint a lovak, orrszarvúk és tevék, de tőlük függetlenül alakultak ki.

Madagaszkártól és Ausztráliától eltérően Dél-Amerika elszigeteltsége természetesen ért véget, még mielőtt az emberi utazás véget vetett volna többé-kevésbé minden zoológiai elszigeteltségnek. A Panama-földszoros mindössze 3 millió évvel ezelőtti kiemelkedése vezetett a Nagy Amerikai Kicserélődéshez. Észak- és Dél-Amerika eltérő flórája és faunája szabadon mozoghatott egymás között a földnyelv formálta folyosón. A két fauna gazdagodott ezzel, bár némi kihalás mindkét oldalon bekövetkezett, feltehetően a verseny következtében – legalábbis részben. A Nagy Amerikai Kicserélődés következtében találhatók ma tapírok (páratlanujjú patások) és pekarik (párosujjú patások) Dél-Amerikában, amelyek Észak-Amerikából jöttek, még ha ott a tapírok kihaltak is, a pekarik pedig nagyon megritkultak. A Kicserélődés miatt van ma jaguár Dél-Amerikában. Korábban nem éltek ott sem macskafélék, sem a ragadozók rendjének egyéb képviselői. Helyüket a ragadozó erszényesek töltötték be, amelyek némelyike félelmetesen hasonlított a kardfogúakra (valódi macskák), amelyek észak-amerikai kortársaik voltak. A Kicserélődés óta élnek tatuk Észak-Amerikában, köztük a Glyptodontes család – ezek az óriástatuk, mulatságos, tweedsapkaszerű fejükkel és nagy, tüskés végű farkukkal, amit talán haszonnal forgattak mind az erszényes, mind a méhlepényes kardfogúak ellen. Sajnos a Glyptodontes család nemrégiben kihalt, akárcsak az óriás földi lajhárok, a fán élő lajhárok fanyűvő, földön lakó unokatestvérei. Az óriáslajhárokat gyakran ábrázolják úgy, amint hátsó lábaikra állva eszegetik a faleveleket, de vélhetően le is dönthették a fákat,



ahogy azt az elefántok teszik manapság. A legnagyobb példányaik hatméteres hossza és három-négy tonnás súlya valóban összevethető az elefántokéval. Az óriáslajhárok (habár nem a legnagyobb változataik) behatoltak Észak-Amerikába, és egészen Alaszkáig jutottak.

A másik irányba, a lámák, az alpakák, a guanakók és vikunyák, a tevefélék családjának valamennyi tagja ma már csak Dél-Amerikára korlátozódik, holott a tevék eredetileg Észak-Amerikában alakultak ki. Feltehetően Alaszkán keresztül, viszonylag nemrégiben terjedtek el Ázsiában, majd Arábiában és Afrikában, ahol kifejlődött belőlük a mongol sztyeppék baktriai tevéje és a forró sivatagok dromedárja. A lovak családja is jórészt Észak-Amerikában alakult ki, ahonnan aztán kihaltak, ezzel téve oly elsöprő erejűvé azt a megrökönyödést, amellyel a bennszülött amerikaiak fogadták a lovakat, amikor a hírhedt konkvisztádorok visszahozták őket Eurázsiából.

Úgy tűnik, a hangyászok nem jutottak el Észak-Amerikába, de e valóban rendkívül különös emlősök három neme Dél-Amerikában fennmaradt. Fogaik egyáltalán nincsenek, koponyájuk pedig, különösen a nagy sörényes hangyász, a *Myrmecophaga* esetében, alig több egyfajta szívószálnál, a hangyák és termeszek felszippantására szolgáló, hosszú görbe csőnél, amelyeket hosszú, ragadós nyelvükkel piszkálnak ki fészkükből. Most pedig hadd mondjak valami megdöbbentőt róluk. A legtöbb emlős, így mi is, emésztést elősegítő sósavat választunk ki a gyomrunkban, de a dél-amerikai hangyászok nem így járnak el. A saját termelésű sósav helyett ők a megevett hangyák hangyasavára építenek. Jellemző példa ez a természetes kiválasztódás opportunizmusára.

Dél-Amerika többi „öregfiúja" közül az erszényesek csak az oposszum (amely ma Észak-Amerikában is gyakori), a tőle nagyon eltérő feketevállú oposszum (amely az Andokra korlátozódik) és az egéroposszum, a monito del monte (amely különös módon alighanem úgy vándorolt vissza Ausztráliából Dél-Amerikába) formájában maradtak fönn. A 14. találkozáson méltóképpen üdvözöljük majd őket.



Hadd mondjak valami megdöbbentőt...
Nagy sörényes hangyász
(Myrmecophaga tridactyla)

A régi dél-amerikai „patások" mind kihaltak, ami annál is sajnálatosabb, mert bámulatos teremtmények voltak. Simpson „öregfiúk" elnevezése mindössze annyit jelent, hogy ezek ősei igen régóta, talán a kontinens Afrikától való elszakadástól fogva Dél-Amerikában éltek. Ugyanolyan hosszú ideig fejlődtek és sokasodtak, mint ameddig a mi megszokottabb emlőseink fejlődtek és sokasodtak az Óvilágban. Sokuk egészen a Nagy Amerikai Kicserélődés idejéig virágzott, és némely esetben még azután is. A litopternek korán ló- és tevealakúakra váltak szét, amelyeknek (az orrcsont helyzetéből ítélve) elefántszerű ormányuk volt. Egy másik csoportnak, a Pyrotheresnek feltehetően szintén volt ormánya, és egyéb tekintetben is meglehetősen elefántszerűek lehettek. Minden bizonnyal igen nagyok voltak. A dél-amerikai fauna az orrszarvúszerű formák irányába haladt, ezek némelyikének fosszilis csontjaira elsőként Darwin bukkant rá. A páratlanujjúak között orrszarvúszerű toxodonokat és kisebb, nyúl- és rágcsálószerű formákat is találunk.

A tatu meséje Dél-Amerika történetéről szól az emlősök korában. Egy óriás tutaj meséje ez, amely akárcsak Madagaszkár, Ausztrália és India, Gondwana széttöredezése után sodródott el. Madagaszkárral már foglalkoztunk *A vézanujjú maki meséjé*ben. Ausztrália lesz a tárgya *Az erszényesvakondok meséjé*nek. India lehetett volna a negyedik tutajkísérlet, de olyan gyorsan haladt észak felé, hogy meglehetősen korán elérte Ázsiát, így faunája az emlősök korának második felében összeolvadt Ázsiáéval. Az emlősök felemelkedésekor Afrika is óriássziget volt, ha nem is annyira és oly hosszan elszigetelt, mint Dél-Amerika. Mégis elég hosszú ideig ahhoz, hogy egy hatalmas és igen változatos emlőscsoport az elszigeteltség alatt saját útjára lépjen, és közelebbi unokatestvéreikké váltak egymásnak, mint a többi emlősnek, jóllehet ránézésre ez soha nem fordulna meg a fejünkben. Ez a csoport az Afrotheria, amelylyel a 13. találkozás során ismerkedünk meg.

13. TALÁLKOZÁS ■ AZ AFRIKAIAK

13

Az Afrotheria a zarándoklatunkhoz csatlakozó utolsó méhlepényes emlőscsoport. Nevük is arra utal, hogy Afrikából származnak, s közéjük tartoznak az elefántok, az elefántcickányok, a dugongok és manátik (amelyeket tengeri elefántoknak vagy tengeri teheneknek is hívnak), a szirtiborzok, a fokföldi földimalacok vagy hangyászmedvék, talán a madagaszkári tanrekek és a dél-afrikai aranyvakondokok. Azok a zarándokok, amelyeket legközelebb üdvözlünk, az erszényesek, jóval távolabbi unokatestvéreink, így az Afrotheria – mindannyian egyforma mértékben – a legtávolabbi nem erszényes rokonaink. A 13. köz-ős körülbelül 105 millió éve élt, és nagyjából a 45 milliomodik ősszülőnk volt, és megismétlem, hasonlított a 11. és a 12. köz-őshöz, ami azt jelenti, hogy mind eléggé cickányszerűek voltak.

Sosem láttam addig elefántcickányt, amíg vissza nem tértem Malawi gyönyörű országába, amely Nyaszaföld néven gyermekkoromban az otthonom volt. Feleségemmel együtt elidőztünk a Mvuu Vadrezervátumban, amely attól a Rift-völgyben fekvő nagy tótól délre található, amelyről az ország a nevét kapta, és amelynek homokos partján réges-régen első „homokvödrös és lapátos" nyaralásomat töltöttem. A vadrezervátumban sokat köszönhettünk afrikai vezetőnk enciklopédikus állatismeretének, éles szemének, mellyel észrevette őket, és lebilincselő szófordulatainak, amelyekkel felhívta rájuk a figyelmünket. Az elefántcickányok mindig ugyanazt a tréfás megjegyzést váltották ki belőle, amely mintha minden ismétléssel csak még viccesebbé vált volna: „Itt az öt kicsi egyike."

Az elefántcickányok, amelyeket hosszú, ormányszerű orrukról neveztek el, nagyobbak az európai cickányoknál, s hosszabb – miniatűr antilopokra emlékeztető – lábaikon gyorsabban is futnak. Tizenöt fajuk közül a legkisebb ugrál. Az elefántcickányok régebben számosabbak és változatosabbak voltak, és a máig fennmaradt rovarevők mellett akadt köztük néhány növényevő faj is. Az elefántcickányoknak megvan az a bölcs szokásuk, hogy nem restek időt és energiát áldozni olyan járatok készítésére, amelyeket később, a ragadozók előli menekülésre használnak.*



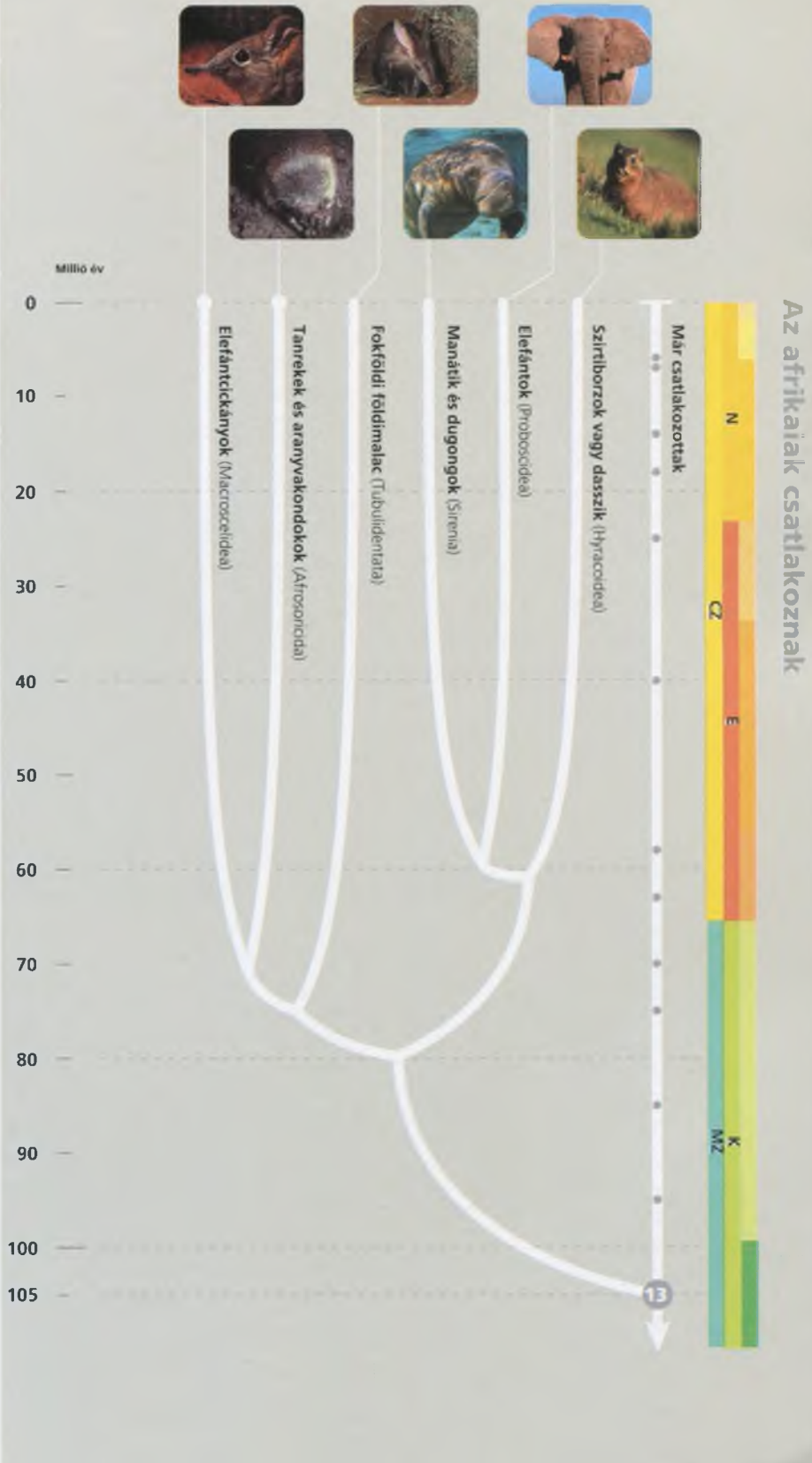
AZ ÖT KICSI EGYIKE
Fokföldi elefántcickány
(Elephantulus edwardii)

Aranyos kis ormánya ellenére soha senkiben sem merült fel, hogy menynyire közel állhat az elefánthoz. Mindig azt feltételezték, hogy csupán az eurázsiai cickány afrikai megfelelője

* Ez úgy hangzik, mintha előrelátásról volna szó – és bizonyos értelemben az is. Ne értelmezzük azonban úgy, mintha szándékos lenne (bár, mint rendesen, ezt sem lehet kizárni). Az állatok gyakran viselkednek úgy, mintha tudnák, mi lesz nekik jó a jövőben, de vigyázzunk, ne felejtsük el a „minthát". A természetes kiválasztódás a szándékos cél fondorlatos színlelője.

Az afrikaiak csatlakoznak
A méhlepényes emlősök új leszármazási fája a csoporton belül a legkorábbiként tartja számon a mintegy 70 Afrotheria-faj és a többi méhlepényes különválását. A 12. és 13. találkozás sorrendje azonban még nem egészen megoldott. Az Afrotherián belüli kérdésekben is viták folynak még az elefántok, a szirének és a szirtiborzok elágazásának sorrendjéről, valamint a fokföldi földimalac, a tanrek és az aranyvakondok hovatartozásáról is.

KÉPEK BALRÓL JOBBRA: fokföldi elefántcickány *(Elephantulus edwardii)*; Grant aranyvakondokja *(Eremitalpa granti)*; fokföldi földimalac *(Orycteropus afer)*; nyugat-indiai manáti *(Trichechus manatus)*; afrikai elefánt *(Loxodonta africana)*; szirtiborz *(Procavia capensis)*





Az újabb molekuláris bizonyítékok azonban azzal a hírrel képesztenek el minket, hogy az elefántcickányok közelebbi rokonai az elefántoknak, mint a cickányoknak, úgyhogy újabban némelyek, a cickányoktól való megkülönböztetés végett másik nevükön, szenginek hívják őket. Egyébként az elefántcickányok „ormánya" csaknem biztosan véletlen hasonlóság. Az öt kicsitől így jutottunk el a nagyhoz, magához az elefánthoz.

Ma az elefántok két nemre fogyatkoztak: az indiai elefántra *(Elephas)* és az afrikai elefántra *(Loxodonta)*, ám hajdanán a különféle fajta elefántok, köztük a masztodonok és a mamutok Ausztrália kivételével* valamennyi földrészt bebarangolták. A masztodonok és mamutok Amerikában is éltek mintegy 12 000 évvel ezelőttig, amikor valószínűleg a Clovis-kultúra népe kiirtotta. A mamutok annyira nemrég haltak ki Szibériából, hogy időnként az örök fagyban rábukkannak egy-egy példányára, úgyhogy a költő szerint még levest is készítettek belőle:

A FAGYOTT MAMUT
Ez a lény, bár ritka, azért megtalálható
Északkelet-Szibériában, hol örök a hó.
Jól tudják ezt azok a primitív emberek
akik a tetemből főznek ízletes levest.
Bár a főzésnek akad legalább egy buktája
(nem is lényegtelen, ezt megengedem):
Ha kilyukasztják főzés előtt a bőrét
Az ízét egyszer s mindenkorra ellőtték.
Ennek következtében ez a csemege –
mérete miatt alig ismeretes.
HILAIRE BELLOC

Mint az összes Afrotheria esetében, Afrika az őshazája az elefántoknak, masztodonoknak és mamutoknak: itt gyökerezik az evolúciójuk, és ez a színhelye diverzifikációjuknak is. Afrika vált a hazájává sok más emlősnek is, így az antilopoknak és a zebráknak, valamint a rájuk vadászó húsevőknek, de ezek laurázsiaiak, amelyek a nagy északi földrészről, Laurázsiából később érkeztek Afrikába. Az Afrotheria fajai az afrikai „öregfiúk".

Az elefántok rendjét Proboscideának nevezzük hosszú proboscisukról, vagyis ormányukról, amely nem más, mint megnyúlt orr. A sokféle cél közül, amire az ormányt használják, az ivás bizonyára a primitívek közé tartozott. Az ivás gondot jelent egy olyan szerfölött magas állat esetében, mint az elefánt vagy a zsiráf. Az elefántok és a zsiráfok tápláléka elsősorban a fákon terem, s részben ezért is lehetnek olyan magasak. Ám a víznek is megvan a maga szintje, amely viszont kényelmetlenül alacsony. Le lehet térdelni a vízhez, ez is egy megoldás. Így tesznek a tevék. A feltápászkodás viszont kemény dió, s még inkább az az elefántoknak vagy a zsiráfoknak. Mindketten úgy oldják meg a problémát, hogy a vizet egy hosszú szívócsövön szippantják föl. A zsiráfok a fejüket a hosszú cső – a nyakuk végén viselik. Ezért kell a zsiráfok fejének elég kicsinek lennie. Az elefántok a cső innenső végén tartják a fejüket – amely épp ezért nagyobb és súlyosabb. Természetesen az ormány ez a szívócső, amely sok egyébbel is együtt jár. Korábban már idéztem Oria Douglas-Hamiltont az elefántormánnyal kapcsolatban. Ő, férjével, Iannal együtt élete javát a vad elefántok tanulmányozásának és védelmének szentelte. Az alábbi dühös be-

13. köz-ős
Éjszakai, cickányszerű lény volt, amely alacsony ágakon mászva rovarokra vadászott. Jellemvonásai tipikus méhlepényes emlősre vallanak. Figyeljük meg a háttérben virágzó zárvatermőt, az utolsóként kialakult nagy növénycsoport képviselőjét.

* Fejtörésre okot adó nyomok szerint esetleg Ausztráliába is eljutottak. Elefántkövületek töredékeiről számoltak be ugyanis, de ezek talán uszadékként érkeztek Afrikából.

kezdést az elefántok tömeges „kiselejtezésének" felháborító látványa váltotta ki benne Zimbabwében.

> Csak néztem az egyik félrehajított ormányt, és azon tűnődtem, hány millió év kellett az evolúció eme csodájának megalkotásához. Ez az ötvenezer izommal felszerelt és az ilyen összetettséghez illő agy által irányított szerv többtonnányi erővel képes valamit kicsavarni vagy odébb tolni. Ugyanakkor olyan kifinomult műveletekre is képes, mint egy kis hüvely leszakítása és szájba helyezése. Ez a sokoldalú szerv tulajdonképpen egy szívócső, amely négy liter, ivásra vagy a test lelocsolására szánt víz befogadására képes. Olyan, mint egy megnyújtott ujj, amely egyben trombita vagy hangosbeszélő is. Az ormánynak társas szerepköre is van: simogatás, szexuális közeledés, megerősítés, üdvözlés, ölelkezés... És most mégis ott fekszik, levágva, mint az a számtalan ormány, amit Afrika-szerte láttam.

Az ormányosok agyarakat is fejlesztettek, amelyek nagyra nőtt metszőfogak. A mai elefántoknak csak a felső állkapcsukban van agyaruk, de néhány kihalt ormányosnak az alsóban is volt, vagy a felső helyett nőtt ott. A *Deinotherium* hatalmas, lefelé görbülő agyarakat növesztett az alsó állkapcsában, de a felsőből hiányoztak. Az *Amebelodon*nak, a Gomphotheresnek nevezett, korai nagy ormányos csoport észak-amerikai képviselőjének a felső állkapcsából elefántszerű agyarak, az alsóból viszont lapos, ásószerű agyarak nőttek ki. Talán valóban ásóként használták őket gumók kiásására. Ez az eszmefuttatás egyébként nem mond ellent annak, amely az ormány szívócsőként történő evolúciójáról szól, mint amellyel az iváshoz szükséges letérdelést váltotta ki. Az alsó állkapocs, végén a két lapos ásóval, olyan hosszú volt, hogy egy Gomphotheres egyed állva is könnyedén feláshatta vele a földet.

A *The Water Babies* (Vízibabák) című könyvében Charles Kingsley azt írja, hogy az elefántok „első unokatestvére a Biblia kis szőrös nyula *[coney]*".* A *coney* szó négy bibliai előfordulási helyei közül kettő azt fejtegeti, miért nem kóser ez az állat: „A hörcsököt, mert kérődző ugyan, de nem hasadt a körme; tisztátalan ez néktek." (Mózes III. könyve [Leviták] 11,5 és egy ehhez igen hasonló bekezdés a Mózes V. [Törvények] 14,7-ben). Ám Kingsley nem a nyulakra gondolhatott, hiszen úgy folytatja, hogy az elefánt a 13. vagy a 14. unokatestvére a nyulaknak. A szó két másik bibliai előfordulása olyan állatra utal, amely sziklák közt lakik: Zsoltárok 104,18 („A magas hegyek a vadkecskéknek, a sziklák hörcsögöknek menedéke"). És Példabeszédek 30,26 („A mar-

* A régi angol *Bibliában (King James Version)* az alább idézett négy helyen a *coney* szó szerepel, amelynek első jelentése 'nyúl'. A 'hörcsök', illetve 'marmota' szó a Károli-féle fordításban található. A modern bibliafordításokban már magyarul szirtiborz, illetve angolul *rock hyrax* olvasható. *(A szerk.)*



Többlapátnyi előny
Az *Amebelodon* ásóagyarának művészi elképzelése.

moták nem hatalmas nép, mégis kősziklán csinálják az ő házokat"). Itt viszont általános az egyetértés afelől, hogy valójában szirtiborzról, vagyis dasszíról van szó, így Kingsleynek, ennek a csodálatra méltó darwinista papnak igaza volt.

Vagyis igaza volt mindaddig, amíg ezek a fárasztó modern taxonómusok be nem robbantak. A tankönyvek szerint az elefántok legközelebbi élő rokonai a szirtiborzok volnának, ami egyezik Kingsley véleményével. Ám a legutóbbi vizsgálatok szerint a dugongokat és a manátikat is be kell vonni a keverékbe, netán az elefántok legközelebbi élő rokonaiként, amelyeknek testvércsoportja a szirtiborzoké. A dugongok és a manátik tisztán tengeri emlősök, amelyek még a párzás kedvéért sem jönnek ki a partra, tehát úgy fest, mintha éppúgy félrevezettek volna bennünket, mint a vízilovak vagy a bálnák. A tisztán tengeri emlősök szabadok a földi gravitáció nyűgeitől, és gyorsan képesek arra, hogy saját különleges irányukba fejlődjenek tovább. A szirtiborzok és az elefántok a szárazföldön maradván jobban meg is őrizték hasonlóságukat, ahogy a vízilovak és a disznók is. Utólagos okoskodással a dugongok és manátik kissé ormányszerű orra és a gyűrött arcukban ülő kis szemei halványan elefántszerű külsőt kölcsönöznek nekik, bár meglehet, ez a véletlen műve.

A dugongok és manátik a szirének rendjébe tartoznak. A név a mítoszok szirénjeihez való vélt hasonlóságukból fakad, jóllehet meg kell mondanom, e hasonlóság nem valami meggyőző. Lassú, állóvíz stílusú úszásukat esetleg még hableányszerűnek lehetne vélni, és kicsinyeiket is egy pár emlőből szoptatják uszonyaik alatt. De az ember önkéntelenül is arra gondol, hogy azok a tengerészek, akik először figyeltek fel erre a hasonlóságra, már bizonyára igen régóta hajóztak a tengeren. A szirénekhez a bálnákkal együtt az egyedüli emlősök, akik soha nem jönnek ki a szárazföldre. Egyik fajuk, a dél-amerikai manátik, édesvízben élnek, a másik két manátifaj a tengerben is megtalálható. A dugongok kizárólag tengeriek, és mind a négy fajt a kihalás fenyegeti, ami a feleségemet arra ösztönözte, hogy egy pólót tervezzen az alábbi felirattal: „Dugoing Dugong Dugone"* Egy szívszorító történet szól az ötödik fajról, a hatalmas Steller tengeri tehénről, ami a Bering-szoros tájékán élt a maga öt tonna fölötti súlyával. Ezt a fajt, miután Bering balvégzetű csapata 1741-ben felfedezte, mindössze 27 éven belül kiirtották, ami jól mutatja, milyen sebezhetőek a szirénekhez.

* Lefordíthatatlan szójáték: kb. „Dugong lesz, dugong van, dugong volt." *(A ford.)*

A bálnákhoz és a delfinekhez hasonlóan a szirének mellső végtagjai is uszonyokká alakultak, miként hátsó végtagjuk sincs. A sziréneket tengeri teheneknek is nevezik, pedig nem rokonai a teheneknek, és nem is kérődzők. Vegetáriánus étrendjük roppant hosszú tápcsatornát és alacsony energia-háztartást igényel. A húsevő delfinek vízi akrobatikája kiáltó ellentétben van a vegetáriánus dugong lusta sodródásával: egy irányított rakéta szemben a kormányozható léghajóval.

Akadnak kis afrikaiak is. Az aranyvakondok és a tanrek talán rokonságban áll egymással, és a legtöbb mai szaktekintély az afrikaiak közé sorolja őket. Az aranyvakondok Dél-Afrikában él, és ugyanazt a tevékenységet űzi, mint az eurázsiai vakondok. Méghozzá milyen nagyszerűen: úgy úszik a homokban, mint hal a vízben. A tanrekek többsége Madagaszkáron él. Nyugat-Afrikában akad néhány félig vízi életmódot folytató „vidracickány", amik valójában tanrekek. Ahogy már láttuk *A véznaujjú maki meséjé*ben, a madagaszkári tanrekek között előfordulnak cickányszerű és sündisznószerű formák, valamint egy vízi faj is, amely talán az afrikaiaktól függetlenül tért vissza a vízbe.

14. TALÁLKOZÁS ■ ERSZÉNYESEK

14

Itt vagyunk, 140 millió évvel ezelőtt, a kréta időszak kezdetén, amikor 14. közősünk, aki kerekítve a 80 milliomodik ősszülőnk volt, a dinoszauruszok árnyékában élt. Ahogy majd *Az elefántmadár meséje* részletesen kifejti, Dél-Amerika, az Antarktisz, Ausztrália, Afrika és India a nagy déli szuperkontinens, Gondwana részei voltak, s éppen megindultak az elszakadás útján (körülbelül ezt az időszakot ábrázolja a 238. oldal térképe). Ennek következtében az éghajlati változások a világot egy (geológiailag) rövid ideig tartó hideg periódusba merítették alá, amikor hó és jég fehérítette a sarkokat a téli hónapokban. Csupán néhány virágos növény nőtt a mérsékelt égövi tűlevelű erdőkben, valamint a földgolyó északi és déli, páfrány borította síkságain, következésképpen csak kevés általunk ismert porzó rovar élt. Ebben a világban a méhlepényes emlősök egész zarándokseregét – lovakat és macskákat, lajhárokat és bálnákat, denevéreket és tatukat, tevéket és hiénákat, orrszarvúkat és dugongokat, egereket és embereket – egyetlen kis rovarevő képviselte, s ő köszönti a másik nagy emlősalosztályt, a Marsupialiát, az erszényesekét.

A *marsupium* latinul 'erszényt' jelent. Az anatómusok ezt használják műszóként mindenféle erszényre, így az emberi herezacskóra is. Ám a leghíresebb erszény az állatvilágban az, amelyben a kenguruk és egyéb erszényesek a kicsinyeiket tartják. Az erszényesek apró, csak épphogy mászni képes embrióként születnek – s másznak is cseppnyi életükért anyjuk szőrerdején át az erszénybe, hogy szájukkal megkapaszkodjanak az egyik csecsbimbóban.

Az emlősök egy másik alosztályát méhlepényesnek nevezzük, mert ezek az embrióikat a méhlepény különféle változataival táplálják: egy olyan nagy szerv ez, amelyen keresztül a magzat milliónyi hajszálere szoros kapcsolatba kerül az anya milliónyi hajszálerével. Ez a nagyszerű anyagcsererendszer (hiszen éppúgy szolgálja a méhmagzat salakanyagainak eltávolítását, mint a táplálását) teszi lehetővé, hogy az újszülött pályafutásának igen kései szakaszában jöjjön a világra. Egészen addig az anyai test védelmét élvezi, amíg – például a szarvas növényevők esetében – képessé nem válik arra, hogy saját lábán lépést tartson a csordával, sőt a ragadozók elől is elfusson. Az erszényesek máshogy járnak el. Az erszény olyan, mint egy külső méh, míg a hatalmas csecsbimbó, amelyre az újszülött szinte úgy ránő, mint egy félig állandó tartozékhoz, kissé köldökzsinórként működik. Később a fiatal kenguru elszakítja magát a csecsbimbótól, és csak alkalmanként cumizik és szop, akár egy méhlepényes újszülött. Úgy bújik elő az erszényből, mint ha másodszor születne, és egyre ritkábban használja ideiglenes menedékként. A kenguruerszény előrefelé, de sok más erszényesé hátrafelé nyílik.

Az erszényesek csatlakoznak

A fennmaradt emlősök három fő alosztályát szaporodásmódjuk alapján különböztetjük meg. Vannak tojásrakó emlősök (Monotremata), erszényes emlősök (Marsupialia) és méhlepényes emlősök (Placentalia – köztük mi is). A morfológia és a DNS-vizsgálatok megegyeznek abban, hogy az erszényesek és méhlepényesek összetartoztak azt megelőzően, hogy a 14. találkozásra összesereglett 270 egynéhány erszényes faj különvált volna a mintegy 4500 méhlepényes emlőstől. Általánosan elfogadott, hogy az erszényesek az itt bemutatott hét rendre tagolódnak. Egymás közti viszonyaik nincsenek biztosan megállapítva: különösen kétséges a dél-amerikai monito del monte besorolása.

KÉPEK BALRÓL JOBBRA: vörös kenguru *(Macropus rufus)*; tasmaniai ördög *(Sacrophilus harrisii)*; déli erszényesvakondok *(Notoryctes typhlops)*; közönséges erszényesnyúl *(Macrotis lagotis)*; északi oposszum *(Didelphis virginiana)*

Az erszényeseké, mint láttuk, egyike annak a két nagy csoportnak, amelybe a máig fennmaradt emlősöket sorolják. Általában Ausztráliával kapcsoljuk össze őket, amely faunáját tekintve nyugodtan úgy ítélhető, hogy magában foglalja Új-Guineát. Sajnálatos, hogy nem létezik olyan elterjedt megnevezés, amely egyesítené e két szárazföldet. A „Meganézia" és a „Szahul" nem elég elterjedtek vagy felidéző erejűek. Az Ausztrálázsia sem felel meg, mert ez Új-Zélandot is magában foglalja, amelynek zoológiailag nem sok köze van Ausztráliához és Új-Guineához. Céljaimra az Ausztrálineát használom.* Egy ausztrálineai állat Ausztrália kontinenséről, Tasmaniából vagy Új-Guineáról származik, de nem Új-Zélandról. Zoológiai szemszögből, bár nem emberiből, Új-Guinea Ausztrália trópusi szárnya, és mindkettő emlősfaunáját az erszényesek uralják. Ahogy azt *A tatu meséjé*ben láttuk, az erszényesek története régóta összefonódik Dél-Amerikáéval is, ahol főként a néhány tucat oposszumfaj formájában még ma is előfordulnak.

Bár a mai amerikai erszényesek csaknem mind oposszumok, ez nem mindig volt így. Ha a kövületeket figyelembe vesszük, az erszényesek legtöbb változata megtalálható Dél-Amerikában. Régebbi fosszíliákat találtak Észak-Amerikában, ám a legrégibb erszényes kövületek Kínában kerültek elő. Laurázsiából kihaltak, de Gondwana két fő maradványán, vagyis Dél-Amerikában és Ausztráliában fennmaradtak. Közülük is Ausztrálinea a fő színtere az erszényesek mai változatosságának. Általánosan elfogadott, hogy az erszényesek az Antarktiszon át Dél-Amerikából érkeztek Ausztrálineába. Az Antarktiszon talált erszényes fosszíliák valószínűleg nem ősei az ausztrálineai formáknak, de ez talán csak azért gondoljuk így, mert oly kevés kövület került elő az Antarktiszról.

A Gondwanáról való leszakadása utáni történetének java részében Ausztrálineán történetesen nem éltek méhlepényes emlősök. Nem elképzelhetetlen, hogy valamennyi ausztráliai erszényes egyetlen, az Antarktiszon át Dél-Amerikából érkezett oposszumszerű alapító állattól ered. Nem tudjuk, pontosan mikor érkezett, de 55 millió évvel ezelőttől sokkal később nem lehetett, mert Ausztrália (pontosabban Tasmania) ekkor távolodott el annyira az Antarktisztól, hogy elérhetetlenné váljon a szigetugráló emlősök számára. Történhetett viszont jóval korábban is, attól függően, hogy az Antarktisz mennyire volt barátságtalan az emlősöknek. Az amerikai oposszumok nem közelebbi rokonai az ausztrálok által posszumnak nevezett állatoknak, mint a többi ausztráliai erszényesnek. Más, főként fosszilis amerikai erszényesek távolabbi rokonoknak tűnnek. Más szóval a legtöbb főelágazás az erszényesek családfáján amerikai, s ez az egyik oka annak, miért gondoljuk, hogy az erszényesek Amerikából származnak, s úgy vándoroltak Ausztrálineába, és nem megfordítva. Ám az ausztrálineai ág igen nagy mértékben diverzifikálódott, miután hazájuk elszigetelődött. Az elszigeteltség mintegy 15 millió éve ért véget, amikor Ausztrálinea (pontosabban Új-Guinea) elég közel került Ázsiához ahhoz, hogy megérkezhessenek a denevérek és a (feltehetően szigetről szigetre ugró) rágcsálók. Aztán hozzánk jóval közelebb eső időben megjöttek a dingók (nyilván kereskedelmi kenukban), végül az európai bevándorlókkal egy egész sereg egyéb állat, így a nyulak, a tevék és a lovak.**

A fejlődő ausztráliai erszényesek a legközelebb hozzánk csatlakozó tojásrakó emlősökkel együtt azon a hatalmas tutajon, amellyé Ausztrália vált, a Déltengerek elszigeteltségébe sodródtak. Ott aztán a következő 40 millió évre az erszényesek és tojásrakók magukra maradtak Ausztráliában. Ha voltak is egyéb emlősök kezdet-

* Az ausztrálineai fauna kisé túlnyúlik Új-Guinean Ázsia irányába. A természetes szelekció nagy társfelfedezőjéről Wallace-vonalnak elnevezett határ választja el a túlnyomóan ausztráliai faunát az ázsiaitól. Meglepőnek tűnhet, hogy a vonal az indonéz szigetvilág két kis szigete: Lombok és Bali közt húzódik, melyeket csak egy elég keskeny szoros különít el. Északabbra a Wallace-vonal két nagyobb sziget: Sulawesi (Celebesz) és Borneó között húzódik.

** Köztük a legnevetségesebb módon a rókák is, azért, hogy vadászni lehessen rájuk – ékesszóló magyarázatként annak az igénynek, hogy ezt a kedvtelést a járványok elleni harcnak állíthassák be.

ben, azok korán kipusztultak.* A dinoszauruszok lábnyomába még nem lépett senki Ausztráliában, de a világ más tájain sem. Számunkra azért izgalmas Ausztrália, mert elszigeteltsége nagyon hosszú ideig tartott, és az erszényes emlősök igen kicsi alapító népességgel indultak, még az is lehet, hogy csupán egyetlen fajjal.

És az eredmény? Elképesztő. A világ mintegy 270 fennmaradt erszényes fajának háromnegyede ausztrálineai (a többi amerikai: főként oposszumok és néhány egyéb faj, mint a szimbolikus *Dromiciops*, a monito del monte) A 200 ausztrálineai faj (néhány ide vagy oda attól függően, hogy felhalmozók vagy inkább felszabdalók vagyunk-e)** szétágazott, hogy betöltsék azokat a „foglalkozásokat", amelyeket korábban a dinoszauruszok gyakoroltak, s amelyeket tőlük függetlenül a világ többi részén is más emlősök foglaltak el. *Az erszényesvakondok meséje* egyenként sorra vesz néhányat ezen foglalkozások közül.

Az erszényesvakondok meséje

Létezik élet a föld alatt is, élet, amelyet a vakondokok (Talpidae család) ismertetett meg velünk Eurázsiában és Észak-Amerikában. A vakondokok elkötelezett ásógépek, mancsaik ásóvá alakultak, míg szemeik, amelyek hasznavehetetlenek a föld alatt, teljesen elcsökevényesedtek. Afrikában a vakondok szerepét (niche) az aranyvakondokok (Chrysochloridae) töltik be. Ezek látszatra nagyon hasonlítanak az eurázsiai vakondokokra, és sokáig ugyanabba a rendbe – a rovarevőkébe – sorolták be őket. Ausztráliában szerepüket (niche) várakozásunknak megfelelően egy erszényes, a *Notoryctes*, vagyis erszényesvakondok tölti be.*** Az erszényesvakondokok úgy festenek, mint az igazi (talpida) vakondokok és az aranyvakondokok; ugyancsak lárvákon és rovarokon élnek, mint ők, és úgy is ásnak, mint egy igazi vakondok, egy aranyvakondoknál pedig még jobban is. Az igazi vakondokok üres alagutakat hagynak maguk mögött, amint zsákmány után keresve ásnak. Az aranyvakondokok, legalábbis a sivatagi, úgy „úsznak" a homokban, amely beomlik mögöttük, s az erszényesvakondokok ugyanígy tesznek. Az evolúció az igazi vakondokok mind az öt első kézujját „ásóvá" formálta át. Az erszényesvakondokok és az aranyvakondokok kettő (vagy néhány aranyvakondok esetében három) karmukat használják. Az igazi és az erszényesvakondokoknak rövid farkuk van, az aranyvakondokok farka teljesen láthatatlan. Mindhárom vak, és nincs látható szemük. Az erszényesvakondokoknak erszényük van (még szép), amely otthont ad a (méhlepényes mértékkel mérve) korán megszületett ivadékoknak.

E három vakondok közti hasonlóságok összetartók (konvergensek): eltérő kezdetekből, nem ásó ősöktől, egymástól függetlenül alakult ki ásó életmódjuk. Ez esetben háromágú konvergenciáról van szó. Bár az aranyvakondokok és az eurázsiai vakondokok közelebbi rokonai egymásnak, mint a bármelyikük az erszényesvakondoknak, közös ősük biztosan nem az ásásra szakosodott. Mindhárman hasonlítanak egymásra abban, hogy ásnak.****

Ausztrálinea nem csupán az erszényesvakondoknak ad otthont, hanem igen hosszú a szereplőlistája azoknak az erszényeseknek is, amelyek mindegyike többékevésbé ugyanazt a szerepet játssza el itt, mint a méhlepényes emlősök más konti-

* Találtak egypár fogat, amelyek a Condylarthák (egy kihalt méhlepényes emlőscsoport) jelenlétére látszanak utalni, de nincs semmi fiatalabb 55 millió évesnél.

** Ezek a többé-kevésbé magától értetődő kifejezések műszavakká váltak a taxonómusok számára, akik vérmérsékletüktől függően gyűjtik össze az állatokat (és a növényeket) néhány nagy csoportba, vagy osztják szét sok kis csoport között. A szabadalók sokasítják a neveket azzal, hogy csaknem minden feltárt leletet új fajnak osztályoznak.

*** A *Necrolestes*, ez a miocén korban élt dél-amerikai erszényes szintén „vakondoknak" tűnik. Neve meglehetősen méltatlanul 'sírrablót' jelent.

**** Annyira hozzászoktunk a gondolathoz, hogy az emlősök a dinoszauruszok nyomdokaiba léptek, hogy meglepve töprengünk azon, miért nem találtak ez idáig dinoszaurusz „vakondokot". Eddig mind a fosszilis járatokat, mind az ásásra idomult szerveket a dinoszauruszokat megelőző „emlősszerű hüllőkkel" hozták összefüggésbe, de meggyőzően soha nem magukkal a dinoszauruszokkal.

nenseken. Találunk itt erszényesegereket (helyesebben erszényescickányokat, mivel rovarevők), „macskákat", „kutyákat", „repülőmókusokat", a világ többi részén jól ismert állatok megfelelőinek egész kiállítási csarnokát. Némely esetben a hasonlóság valóban megdöbbentő. Az amerikai erdők repülőmókusa, a *Glaucomys volans* ugyanúgy fest és viselkedik, mint az ausztráliai eukaliptuszerdők bennszülöttei, a cukros erszényesmókus *(Petaurus breviceps)* vagy a mahagóni erszényesmókus *(Petaurus gracilis)*.* Az amerikai repülőmókusok valódi mókusok, vagyis a mi jól ismert mókusaink rokonai. Afrikában érdekes módon a repülőmókus szakmáját az úgynevezett Amularidae család, a tüskésfarkú mókusoké gyakorolja, amelyek bár rágcsálók, mégsem igazi mókusok. Ausztrália erszényesei is kitermeltek három, egymástól függetlenül kialakult vitorlázó ágazatot. A méhlepényes vitorlázókhoz visszatérve a 9. találkozáson már megismertük a titokzatos „repülőmakit", amely abban tér el a repülőmókusoktól és az erszényes vitorlázóktól, hogy a farkára és mind a négy végtagára is kiterjed a siklóhártya.

* Bár repülőmókusnak *(flying phalanger)* nevezik, nem tagja a Phalangeridae családnak (kuszkuszok és csetfarkú poszumok).

A *Thylacinus*, a tasmaniai farkas az összetartó vagy konvergens evolúció egyik leghíresebb példája. A *Thilacinus*okat olykor tasmaniai tigriseknek is nevezik csíkos hátukról, de ez szerencsétlen névadás. Sokkal inkább hasonlítanak a farkasokra vagy a kutyákra. Hajdan egész Ausztráliában és Új-Guineán is éltek, Tasmanián pedig az eleven emlékezetig fennmaradtak. Skalpjukra 1909-ig jutalom járt, az utolsó hiteles vad példányt 1930-ban lőtték le, s az utolsó befogott tasmaniai farkas 1936-ban pusztult el a Holbart Állatkertben. A legtöbb múzeumban megtaláljuk kitömött példányait. A hátán lévő csíkok miatt könnyen megkülönböztethető a kutyától, de a csontváz esetében már nehezebb a dolgunk. Nemzedékem zoológiai hallgatóinak Oxfordban a diplomavédés során 100 zoológiai példányt kellett meghatározniuk. Hamar szárnyra kapott a hír, hogy ha egy „kutyakoponyát" kap valaki, akkor egész nyugodtan *Thylacinus*ként határozhatja meg azon az alapon, hogy egy olyan nyilvánvaló feladat, mint a kutyakoponya, biztosan csapda. Egyik évben a vizsgáztatók – becsületükre legyen mondva – kétszeresen blöfföltek, és beiktattak egy igazi kutyakoponyát. Az érdeklődők kedvéért elmondom, hogy a legkönnyebben a szájpadcsonton lévő két erőteljes lyukról különböztethetők meg, amely tulajdonság az erszényesekre általában jellemző. A dingók persze nem erszényesek, hanem valódi kutyák, és talán az őslakók terjesztették el őket. A *Thylacinus*ok részben valószínűleg a dingókkal vívott versengés miatt pusztultak ki az ausztrál kontinensről. A dingók Tasmaniába soha nem jutottak el, s talán ezért is maradtak fönn ott a *Thylacinus*ok, amíg az európai telepesek ki nem irtották őket. Ám a fosszíliák bizonysága szerint Ausztráliában éltek más *Thylacinus*-fajok is, amelyek túl korán kihaltak ahhoz, hogy akár az embereket, akár a dingókat hibáztathatnánk ezért.

Az ausztrálineai „természetes kísérlet" „alternatív emlőseit" gyakran mutatják be olyan képsorozatok, amikor az egyes ausztrálineai erszényeseket ismertebb méhlepényes megfelelőikkel párosítják. Ám nem minden ökológiai megfelelés eredményez egymáshoz hasonló fajokat. Úgy tűnik például, hogy nincs méhlepényes megfelelője a mézrabló erszényesnek. Azt már könnyebb belátni, miért nincs erszényes megfelelője a bálnáknak: eltekintve az erszény víz alatti kezelésének nehézségeitől, a „bálnák" nem lennének kitéve annak az elszigeteltségnek, amely lehetővé tette az ausztrál erszényesek eltérő fejlődését. Hasonló okfejtés magyarázza, miért nincsenek erszényesdenevérek. És bár a kengurukat az antilopok ausztráliai meg-



Természetes kísérlet
Erszényesek (felső sor) és méhlepényes „megfelelőik" összevetése: tasmaniai farkas *(Thylacinus cynocephalus)* szürkefarkas *(Canis lupus)*; csíkoserszényes *(Dactylopsila trivirgata)* büzösborz *(Conepatus humboldtii)*; erszényesvakondok *(Notoryctes typhlops)* aranyvakondok *(Eremitalpa granti)*; cukros erszényesmókus *(Petaurus breviceps)* repülőmókus *(Glaucomys sabrinus)*

felelőjeként írhatnánk le, mégis nagyon másként néznek ki, mivel testük nagyrészt szokatlan hátsó lábon ugráló járásmódjuk köré épült föl, amit masszív farkukkal egyensúlyoznak ki. A 68 ausztráliai kenguru- és valabifaj étrendje és életmódja mégis megfelel a 72 antilopfajénak. Az átfedés nem tökéletes. Némely kenguru, ha teheti, rovarokat is fogyaszt, a fosszíliák pedig egy olyan hatalmas, húsevő kengururól is vallanak, amely igazán félelmetes lehetett. Ausztrálián kívül akadnak kengurumódra ugráló méhlepényes emlősök, de ezek többnyire apró rágcsálók, mint például az egyiptomi ugróegér. Az afrikai ugrónyúl ugyancsak rágcsáló, nem igazi nyúl, és ez az egyetlen méhlepényes emlős, amely esetleg összekeverhető a kenguruval (vagy inkább egy kis valabival). És valóban, egyszer a Nairobi Egyetemen zoológiát tanító kollégám, dr. Stephen Cobb jót mulatott, hogy hallgatói heves tiltakozásába ütközött, amikor azt hallották tőle, hogy a kenguruk csak Ausztráliára és Új-Guineára korlátozódnak.

*Az erszényesvakondok meséjé*nek tanulságára az összetartás – a konvergencia – evolúciós jelentőségére – és itt a valódi, az előretartó konvergenciára gondolok, nem a könyv központi metaforájaként alkalmazott fordított egybeforrásra – visszatérünk még az utolsó fejezetben, amikor a fogadós hazatér.

15. TALÁLKOZÁS ■ TOJÁSRAKÓ EMLŐSÖK

15

A 15. találkozásra az alsó jura félig monszun, félig sivatagi világában, mintegy 180 millió évvel ezelőtt kerül sor. A déli kontinens, Gondwana még éppen némileg összefüggött Laurázsia északi kontinensével – így visszautunk során elsőként találjuk mindhárom nagy földrészt együtt az összefüggő „Pangeában". Pangea feldarabolódásának nagy jelentőségű következményei lehettek a 15. köz-ős utódaira, amely talán 120 milliomodik ősszülőnk volt. Találkozásunk meglehetősen egyoldalú vállalkozás. A többi emlőshöz ezúttal csatlakozó zarándokok mindössze három nemet képviselnek: az *Ornithorhynchus anatinus*, a kacsacsőrű emlős, amely Kelet-Ausztráliában és Tasmanián él; a *Tachyglossus aculeatus*, a rövidcsőrű hangyászsün, amely egész Ausztráliában honos; és az Új-Guinea magasföldjeire korlátozódó *Zaglossus*, a hosszúcsőrű hangyászsün.* E három nemet nevezik együttesen tojásrakó emlősöknek.

* A *Zaglossus* nemben három fajt különböztetnek meg, amelyek egyikét, örömmel mondhatom, *Z. attenborough*inak nevezik.

Több mese is fejtegette a szigetkontinensek témáját, mint a fő állatcsoportok bölcsődéjét: ez volt Afrika az Afrotheriának, Laurázsia a laurázsiaiaknak, Dél-Amerika a vendégízületeseknek, Madagaszkár a makiknak, Ausztrália pedig a legtöbb fennmaradt erszényesnek. Ám egyre inkább úgy tűnik, mintha az emlősök körében lenne egy ennél jóval korábbi kontinentális megoszlás. Az egyik elmélet hívei szerint jóval a dinoszauruszok kimúlása előtt az emlősök két nagy csoportra szakadtak: az Australosphenidanokra és a Boreosphenidanokra. Az australo, még egyszer mondom, nem ausztrált jelent, hanem délit, a boreo pedig északit, mint az északi fényben, az aurora borealisban. Az Australosphenidanok azok a korai emlősök voltak, amelyek a nagy déli kontinensen, Gondwanán fejlődtek tovább, míg a Boreosphenidanok Laurázsia északi kontinensén alakultak ki, egyfajta korai megtestesülésként, jóval a ma ismert laurázsiaiak evolúciója előtt. A tojásrakó emlősök az Australosphenidanok egyedüliként fennmaradt képviselői. Az összes többi emlős, azaz Theria, ide sorolva a ma Ausztráliával összekapcsolt erszényeseket is, az északi Boreosphenidanok leszármazottja. Azok az emlősök, amelyeket mi a délhez, és Gondwana feldarabolódásához társítunk – például az afrikai Afrotheria vagy a dél-amerikai és ausztráliai erszényesek – jóval északi eredetüket követően délre, Gondwanára vándorolt Boreosphenidanok voltak.

Fordítsuk most figyelmünket magukra a tojásrakó emlősökre. A hangyákkal és termeszekkel táplálkozó hangyászsünök csak száraz tájakon honosak. A kacsacsőrű emlősök többnyire vízben élnek, ahol az iszapban tanyázó kis gerinctelenekre esznek. „Csőre" valóban úgy néz ki, mint a kacsáé. A hangyászsünök csőre csőszerűbb. Némileg meglepő módon a molekuláris bizonyítékok egyébként arra utalnak, hogy a hangyászsünök és a kacsacsőrű emlősök közös őse újabban élt, mint a

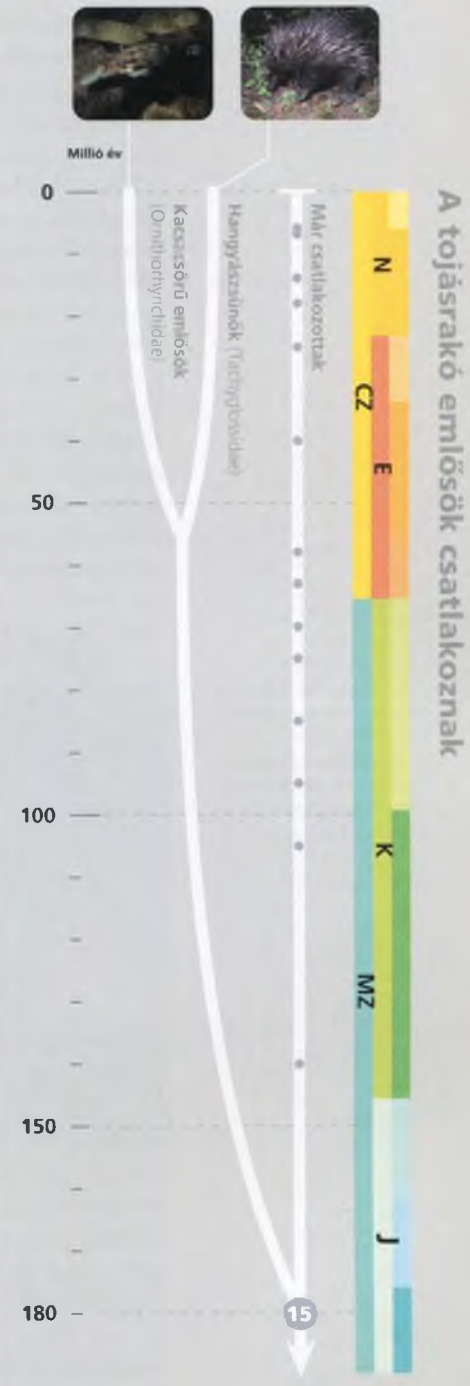
A TOJÁSRAKÓ EMLŐSÖK CSATLAKOZNAK
A ma élő emlősök nem egészen 5000 faja mind szőrös, és szoptatja a kicsinyeit. Azokról, amelyekkel eddig találkoztunk, a méhlepényes és erszényes emlősökről, úgy véljük, mind az északi félgömbről, a jura időszakból származnak. Az az öt emlősfaj, amely megtartotta a tojásrakás szokását, a kizárólagos túlélője a déli félgömb egykor változatos emlősvilágának.

KÉPEK BALRÓL JOBBRA: rövidcsőrű hangyászsün *(Tachyglossus aculeatus)*; kacsacsőrű emlős *(Ornithorhynchus anatinus)*

fosszilis kacsacsőrű, az *Obdurodon*, amely attól eltekintve, hogy csőrében fogak voltak, pontosan úgy nézett ki és élt, mint a mai kacsacsőrű. Ez azt jelentheti, hogy a hangyászsünök módosult kacsacsőrűek, amelyek az utóbbi 20 millió év során elhagyták a vizet, ujjaik közül eltűnt a hártya, csőrük elkeskenyedett, hogy a hangyászok szondázó orrát nyerjék, és védő tüskéket fejlesztettek.

Abban a tekintetben, amelyről a nevüket kapták, a tojásrakó emlősök a hüllőkre és a madarakra hasonlítanak. Tudományos nevük, a *Monotremata* görögül 'egynyílásúakat' jelent. A hüllőkhöz és a madarakhoz hasonlóan a végbél, a húgyvezeték és a nemzővezeték egyetlen közös járatba, a kloákába torkollik. Még inkább hüllőszerű, hogy a kloákából peték, és nem újszülöttek bújnak elő. Ez esetben ráadásul nem mikroszkopikus petékről van szó, mint az összes többi emlősnél, hanem szívós, fehér, két centiméteres, bőrös tojásokról, amelyek a kicsinyek táplálására mindaddig elegendő tápanyagot rejtenek, amíg készen nem állnak a kikelésre, amelyet végül hüllő- vagy madármódra, a „csőr" végén elhelyezkedő tojásfog segítségével hajtanak végre.

A tojásrakó emlősöknek van néhány egyéb, jellegzetesen hüllőszerű tulajdonságuk is, ilyen a hüllőknél a váll közelében található interclavicularis csont, amellyel az emlősök nem bírnak. Másfelől viszont a tojásrakó emlősök csontváza számos szabályos emlősjellemvonással rendelkezik. Alsó állkapcsuk egyetlen csontból, a dentariumból áll. A hüllők alsó állkapcsán még három további csont található ott, ahol a főkoponyához illeszkedik. Az evolúció során ez a három csont az emlősöknél az alsó állkapocsból a középfülbe vándorolt, ahol kalapács, üllő és kengyel névre átkeresztelve a dobhártyától a hangot egy olyan trükkös módszerrel továbbítják a belső fülbe, amit a fizikusok impedanciaillesztésnek hívnak. Ezen a ponton a tojásrakóknak szilárdan az emlősök közt a helye. Maga a belső fül azonban már inkább hüllő- vagy madárszerű, amennyiben a belső fülben levő füljárat, amely



felfogja a különböző hangfekvésű hangokat, egyenesebb, mint az összes többi emlős csigaszerű tekercse, amelyről ez a szerv a nevét kapta.

A tojásrakók az emlősökkel tartanak abban is, hogy tejet választanak ki a kicsinyeiknek, ami minden anyagok közül a legközmondásosabban emlősszerű. Ám itt is lerontja a hatást, hogy náluk hiányoznak a különálló csecsbimbók. A tej ehelyett a bőr pórusain szivárog ki a hasi oldal terjedelmes felületén, ahonnét az anya hasszőrzetébe csimpaszkodó újszülött lenyalja. őseink talán ugyanígy cselekedtek. A tojásrakó emlősök végtagjai kissé jobban oldalra állnak, mint a tipikus emlősöké. Ezt láthatjuk a hangyászsünök furcsa, imbolygó járásmódján, amely ugyan nem teljesen gyíkszerű, de nem is teljesen emlősszerű. Ez csak tovább fokozza a benyomást, hogy a tojásrakó emlősök egyfajta átmenetet képviselnek a hüllők és az emlősök között.

De vajon hogy nézett ki a 15. köz-ős? Természetesen semmi okunk azt gondolni, hogy akár a hangyászsünre, akár a kacsacsőrű emlősre hasonlított volna. Mindenesetre éppúgy volt a *mi* ősünk, mint az övék is, és a fejlődéshez azóta igen hosszú idő állt mindannyiunk rendelkezésére. A jura időszak azonos évjáratú kövületei különféle olyan kis cickány- vagy rágcsálószerű állatokhoz tartoznak, mint a *Morganucodon* és a Multituberculatának nevezett nagy csoport. E bájos képen e korai emlősök, az Eupantothera egyik képviselője látható egy páfrányfenyőn.



Ez lehetett az ősünk? Elke Gröning rajza az Eupantotherák közé tartozó *Henkelotherium*ról. (Az itt látható levélforma megegyezik a mai páfrányfenyőkével, de a jura kori páfrányfenyőké még ennél is finomabban osztott lehetett.)

A KACSACSŐRŰ EMLŐS MESÉJE

A kacsacsőrű emlős korai latin neve *Ornithorhynchus paradoxus* volt. Felfedezésekor olyan bizarrnak tűnt, hogy amikor egy példányát beküldték a múzeumba, azt gondolták, hogy ugratás: emlős- és kacsaalkatrészek összevarrva. Mások azon tűnődtek, hogy az Istennek rossz napja volt, amikor megteremtette a kacsacsőrű emlőst. Né-

hány ottfelejtett alkatrészt talált a műhely padlóján, és úgy határozott, inkább összerakja, semmint kidobja őket. Ettől ármányosabban (mivel nem tréfálnak) némely zoológus „primitívként" írja le a tojásrakó emlősöket, mintha a primitívként elüldögélés holmi teljes életmód volna. Épp ennek megkérdőjelezése az egyik célja a kacsacsőrű emlős meséjének.

A 15. köz-őstől a kacsacsőrű emlősnek pontosan annyi ideje volt a fejlődésre, mint a többi emlősnek. Semmi oka annak, hogy valamely csoport primitívebb legyen, mint egy másik (emlékezzünk, hogy a primitív „az ősre jobban hasonlót" jelent). Lehet, hogy a tojásrakók bizonyos tekintetben primitívebbek nálunk: ilyen lehet a tojásrakás. Annak azonban semmi oka, hogy a valamely szempontú primitívség egy másik tekintetben is primitívséget írna elő. Nincs semmiféle ősi Esszencia nevezetű anyag, amely átjárja a vért, és beivódik a csontokba. Primitív a csont akkor, ha hosszú időn át alig változott. Nincs olyan szabály, de még csak egy halvány utalás sem, amely előírná, hogy a szomszédos csontnak is primitívnek kell lennie, hacsak nem nyitunk újabb szempontot. Ezt semmi sem érzékelteti jobban, mint maga a névadó kacsacsőr. Ez rengeteget fejlődött, még ha a kacsacsőrű emlős egyéb részei nem is.

A kacsacsőrű emlős csőre mulatságosan hat, és a kacsáéhoz való hasonlóságát viszonylagos nagysága és a kacsacsőrnek talán a Donald kacsára visszavezethető nevetségessége csak még furcsábbá teszi. Ám a humor igazságtalanul bánik ezzel a bámulatos készülékkel. Ha nem egymást ütő átültetett szövetek fogalmaiban kívánunk gondolkodni, akkor felejtsünk el mindent a kacsákkal kapcsolatban. Használhatóbb összehasonlítás kínálkozik, ha a Nimrod felderítő repülőgépekre illesztett toldalékorral vetjük össze. Ennek amerikai megfelelője az AWACS, amely ismertebb ugyan, de kevésbé felel meg az összevetés céljára, hiszen az AWACS „toldalék" a gép törzsén, és nem a csőrhöz hasonlóan az orrán van. Az a lényeg, hogy a kacsacsőrű emlős csőre nem csupán egy odavágásra és táplálkozásra szolgáló állkapocspár. Az is, bár inkább rugalmas, semmint a kacsacsőrhöz hasonlóan szaruszerű. Sokkal érdekesebb azonban a kacsacsőrű emlős csőrének felderítő szerepe, vagyis hogy egyfajta AWACS szervként működik. A kacsacsőrű emlősök rákokra, rovarlárvákra és egyéb kis állatokra vadásznak a folyómedrek iszapjában. A szemeknek nem sok hasznát venni az iszapban, így a kacsacsőrű emlős szorosan csukva is tartja őket. De nemcsak a szemeit zárja be, hanem az orrlyukait és a füleit is. Zsákmányt nem lát, nem hall, nem szimatol, mégis talál, méghozzá nagyfokú hatékonysággal: fele testsúlyának megfelelő mennyiséget naponta.



Repülő kacsacsőrű? Nimrod gyorsreagálású felderítőrepülő, a radarberendezést tartalmazó, hagymaszerű kinövéssel az orrán. Amerikai megfelelője, az AWACS a géptörzsre szerelt korong formájában hordja a kinövését.

Ha az ember kétkedő kivizsgálója lenne valakinek, aki azt állítja, hogy van „hatodik érzéke", mit tennénk? Bekötnénk a szemét, bedugnánk a fülét és az orrlyukait, aztán kitűznénk számára néhány érzékelési feladatot. A kacsacsőrű emlősök mindent megtennének a kísérlet sikeréért. Kikapcsolják három érzékszervüket,



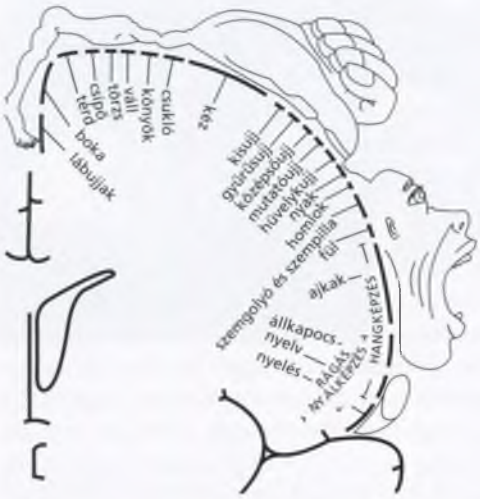
A KÉZNEK MEGFELELŐ SZEREPET TÖLT BE
A kacsacsőrű emlős érzékeny csőre *(Ornithorhynchus paradoxus)*

amelyek olyan fontosak számunkra (és talán számukra is a szárazföldön), mintha minden figyelmüket valamely másik érzékszervükre összpontosítanák. A kulcsot vadászviselkedésük egy másik jellemvonása adja a kezünkbe. Úszás közben oldalirányban ide-oda ingatja a csőrét, amit „szakkád" mozgásnak neveznek. Úgy néz ki, mint egy fürkésző radarernyő...

A kacsacsőrű emlős egyik első leírása Sir Everard Home tollából a *Philosophical Transactions of the Royal Society* 1802-es számában előrelátónak bizonyult. Észrevette, hogy az arcot beidegző háromosztatú ideg

> szokatlanul nagy. E körülménynek azon meggyőződésre kell vezetnie bennünket, hogy a csőr különböző részeinek érzékenysége igen nagy, s ezért a kéznek megfelelő szerepet tölt be, s igen kifinomult megkülönböztetésre képes.

Sir Everard a dolog felével sem volt tisztában. A kézre való utalás az igazán árulkodó. A nagy kanadai neurológus, Wilder Penfield tette közzé azt az emberi agyat ábrázoló híres képét, amelyen feltüntette, hogy az agyból mekkora részek felelnek meg a különböző testrészeknek. Íme, az egyik agyfélteke térképe, amely feltünteti az egyik oldalon elhelyezkedő különböző testrészek izmainak szabályozására átengedett agyfelület arányait is. Penfield készített egy hasonló térképet, amely a különböző testrészek tapintásérzékelésével kapcsolatos agytájékokat mutatja. Az igazán megdöbbentő mindkét térképen a kéznek tulajdonított hatalmas jelentőség. Az arc is kiemelkedő, különösen a rágás és beszéd közben az állkapcsokat szabályzó részeké.



Penfield agytérképe. Penfield és Rasmussen után [222].

Penfield „homunculusára" nézve azonban igazán a kéz tűnik fel. A következő oldalon ugyanezt láthatjuk másképp ábrázolva. Ennek a groteszk figurának a teste a különböző testrészekre jutó agyfelület arányában torzult el. Itt is csak azt láthatjuk, hogy az emberi agy kéz-nehéz.

Hová vezet mindez? *A kacsacsőrű emlős meséje* sokat köszönhet a neves ausztrál neurobiológusnak, Jack Pettigrew-nak és munkatársainak, köztük Paul Mangernek, akik sok jeles tettük között elkészítették a kacsacsőrű emlős Penfield homunculusának megfelelő változatát, a „kacsacsőrűcskét". Az első, amit el kell mondanunk, hogy ez jóval pontosabb Penfield homunculusánál, amely elég foghíjas adatokra

épült. A kacsacsőrűcske viszont rendkívül alapos munka. Az agy felső részén három kis kacsacsőrűemlős-térképet láthatunk: ezek a test felületéről érkező érzékelési információknak felelnek meg az agy különböző területein: a három testtérképet a megkülönböztetés végett színkód jelzi. Az, hogy a kék és a vörös térkép egyik irányba, míg a barna a másikba néz, nem számít. Ez egyébként valamennyi agytérképre általánosan érvényes. Az állatnak igazából az fontos, hogy rendezett térbeli leképezés létezik az egyes testrészek és a nekik megfelelő agytájékok között.



Az emberi agy kéz-nehéz
Penfield homunculusa (emberkéje) az emberi testrészeket olyan arányúnak ábrázolja, amilyen arányban érzékelési adataik feldolgozásához az agykéreg területéből részesülnek.

Figyeljük meg, hogy a térképen sötét színnel jelölt kezek és lábak Penfield hatalmas kezű homunculusával ellentétben körülbelül arányban állnak magával a testtel. Ami viszont aránytalan a kacsacsőrűcskén, az a csőr. A csőr térképei azok a hatalmas területek, amelyek lenyúlnak a test többi részének térképeiről. Vagyis a piros térkép éppúgy eltúlozza a csőrt, mint ahogy a kéz uralja az emberi térképet. Míg az emberi agy kéz-nehéz, addig a kacsacsőrű emlősé csőr-nehéz. Sir Everard Home sejtése bevált. Viszont, mint kiderül, egy tekintetben a csőr még a kéznél is nagyobb: olyan dolgokat is „érez", amelyeket nem tapint. Érzékeli a távolságot, mégpedig elektromos úton.

Amikor egy állat, mondjuk az édesvízi rák, a kacsacsőrű emlős jellegzetes zsákmánya, az izmait használja, elkerülhetetlenül gyenge elektromos mezők képződnek. Megfelelő érzékelő készülékkel ezek felfoghatók, különösen vízben. Ha van megfelelő számítógépes kapacitás a számos ilyen érzékelőből származó adatok kezelésére, akkor az elektromos mezők forrása kiszámítható. A kacsacsőrű emlősök természetesen nem a matematikus vagy a számítógép módjára számolnak. Ám agyuknak valamely szintjén a számítás elvégzésére sor kerül, s ennek eredményeként a zsákmányt elkapják.



A kacsacsőrű emlős agya csőr-nehéz
Egy „kacsacsőrűcske" Pettigrew et al. alapján [225].

A kacsacsőrű emlősök csőrének mindkét felületén, vízszintes sorokba elrendezve körülbelül 40 000 elektromos érzékelő található. Miként a kacsacsőrűcskén látható, az agy jelentős részét köti le e 40 000 érzékelő adatainak feldolgozása. Ám a cselekmény bonyolódik. A 40 000 elektromos érzékelő mellett mintegy 60 000

nyomásérzékelő pálcikának nevezett mechanikus érzékelő oszlik el a csőr felületén. Pettigrew és munkatársai olyan idegsejtekre bukkantak az agyban, amelyek a mechanikai érzékelőktől kapják a jeleket. Mellettük olyan idegsejteket is találtak, amelyek mind az elektromos, mind a mechanikus érzékelőkért felelnek (olyan sejtekre viszont mindeddig nem bukkantak, amelyek csak az elektromos érzékelőkért felelnének). Mindkét sejtfajta pontosan meghatározott helyet foglal el a csőr térbeli térképén, s oly módon rétegződnek, amely emlékeztet az ember látókérgére, ahol a rétegződés a kétszemű látást segíti. A Pettigrew-csoport felveti, hogy amiként rétegzett agyunk a sztereó kép megalkotásához a két szemből származó adatokat egyesíti, a kacsacsőrű emlős éppily hasznos módon egyesíti az elektromos és a mechanikus érzékelőkből nyert információkat. Hogyan lehetséges ez?

Pettigrew-ék a dörgés és villámlás példájára hivatkoznak. A villámlás villanására és a dörgés csattanására egyazon pillanatban kerül sor. A villámlást azonnal meglátjuk, de a dörgés, amely a hang viszonylag lassú sebességével halad, csak később ér el hozzánk (végül a durranás a visszhangok miatt válik robajlássá). A villámlás és a dörgés közti idő megmérésével kiszámíthatjuk, milyen messze van a vihar. A kacsacsőrű emlős számára talán a zsákmányállat izomzatának elektromos kisülései jelentik a villámlást, míg a zsákmányállat mozgása által a vízben keltett hullámingadozások a dörgést. Elképzelhető, hogy a kacsacsőrű emlős agya úgy épül föl, hogy kiszámítsa a kettő közti időbeli eltérést és így azt is, milyen messze van a zsákmány? Valószínűnek tűnik.

A zsákmány irányának megállapításához a térképen mindenfelé elhelyezkedő különböző receptorokból érkező jelek összehasonlítása szükséges, amit feltehetően a csőr oldalirányú fürkésző mozgása segít, ahhoz hasonlóan, ahogy az ember készítette radar a radartányér forgását használja. Ilyen hatalmas mennyiségű érzékelő segítségével, amelyek a velük párban álló agysejtek felé továbbítják az adatokat, a kacsacsőrű emlős a közelében lezajló bármilyen elektromos ingadozásról nagy valószínűséggel részletes, háromdimenziós képet alkot.



Távoli bizsergés
A kacsacsőrű emlős elektromos érzékelésű világa. Manger és Pettigrew nyomán [181].

Pettigrew és munkatársai elkészítették a kacsacsőrű emlős csőre körüli azonos elektromos érzékelés vonalainak kontúrtérképét. A kacsacsőrű emlősre gondolva felejtsük el a kacsát, és gondoljunk a Nimrodra, gondoljunk az AWACS-ra; gondoljunk egy hatalmas kézre, amint távoli bizsergés nyomán tapogatózik; gondoljuk el, amint villámlás hasít és dörgés morajlik keresztül Ausztrália latyakos iszapján.

A kacsacsőrű emlős nem az egyetlen állat, amely ezt a fajta elektromos érzékelést használja. Több hal is így tesz, köztük a *Polyodon spathula* vagy lapátorrú tok.



Ugyanaz a zseniális trükk?
Lapátorrú tok
(Polyodon spathula)

A gyakorlatilag a „csontos" halak közé tartozó lapátorrú tokok rokonaikkal, a tokhalakkal együtt egy porcos belső vázat is kifejlesztettek, akár a cápák. A cápákkal ellentétben a lapátorrú tokok édesvízben, méghozzá gyakran zavaros folyókban élnek, ahol a szemnek ők sem veszik sok hasznát. A „lapát" meglehetősen hasonlít a kacsacsőrű csőrének felső állkapcsára, bár ez egyáltalán nem állkapocs, hanem a koponya nyúlványa. Gyakran olyan hosszú, hogy eléri a testhossz egyharmadát is. Engem ez még jobban emlékeztet a Nimrod repülőre, mint a kacsacsőrű emlős.

A lapát nyilván valami fontos szerepet játszik a hal életében, és valóban egyértelműen bebizonyosodott, hogy ugyanazt a munkát végzi, mint a kacsacsőrű emlős csőre – vagyis a zsákmányállatok elektromos mezőit deríti föl. A kacsacsőrű emlőshöz hasonlóan az elektromos érzékelők vízszintesen futó vonalakon elhelyezkedő pórusokban ülnek. A két rendszer azonban egymástól függetlenül alakult ki. A kacsacsőrű emlős elektromos pórusai módosult nyálkamirigyek. A lapátorrú tok elektromos pórusai annyira hasonlítanak a cápák Lorenz-féle ampulláknak nevezett elektromos érzékelőire, hogy ugyanezt a nevet is kapták. Ám míg a kacsacsőrű emlős érzékelőpórusai a csőrön végigfutó, tucatnyi vékony csíkon helyezkednek el, addig a lapátorrú toknak a lapát mindkét középvonalán végigfutó, két széles csíkja van. Akárcsak a kacsacsőrű emlős, a lapátorrú tok is iszonyú mennyiségű pórussal rendelkezik, sőt valójában még többel is, mint a kacsacsőrű. Mind a lapátorrú tok, mind a kacsacsőrű emlős sokkal érzékenyebb az elektromosságra, mint bármely érzékelőjük önmagában. A különböző érzékelőkből származó jelek összesítésének valamiféle kifinomult módjával kell tehát bírniuk.

Bebizonyosodott, hogy a fiatal lapátorrú tok számára az elektromos érzékelés fontosabb, mint a felnőttek számára. Találtak olyan felnőtteket, amelyek elveszítették lapátjukat, mégis láthatón egészségesen életben maradtak, de olyan fiatalt nem találtak, amely lapát nélkül megélne bármilyen patakban. Ennek az lehet az oka, hogy egyes fiatal lapátorrú tokok – akárcsak a felnőtt kacsacsőrű emlősök – egyedi zsákmányt céloznak meg és kapnak el. A felnőtt lapátorrú tokok inkább a plank-

tonevő szilás cetekhez hasonlóan táplálkoznak: az iszapot átszűrve tömegesen fogják el zsákmányukat. Ezen az étrenden nagyra is nőnek – nem olyan nagyra ugyan, mint a bálnák, de olyan hosszúra és súlyosra, mint egy ember, vagyis nagyobbra, mint a legtöbb édesvízi állat. Feltehetően a planktont szűrő felnőttnek kisebb szüksége van egy pontos zsákmánylokátorra, mint a magukat egyedi zsákmány után vető növendékeknek.

A kacsacsőrű emlős és a lapátorrú tok tehát egymástól függetlenül lyukadt ki ugyanarra az ötletes megoldásra. Vajon más állat is felfedezte? Miközben kutatósegédem, Sam Turvey doktori értekezésén dolgozott Kínában, egy *Reedocalymene* nevű, rendkívül különös trilobitába botlott. A különben minden sallang nélküli trilobita *Reedocalymenének* (hasonló a Dudley-bogárra, a *Calymenére*, amely feltűnik Dudley város címerében) van egy sajátos és figyelemre méltó vonása: mégpedig az a hatalmas csőszáj, amely akárcsak a lapátorrú tok esetében, teljes testhossznyi méretben mered előre. Az áramvonalasítás nem lehetett a szerepe, mert ez a trilobita – ellentétben sok másikkal – nyilvánvalóan alkalmatlan volt a tengerfenék fölötti úszásra. A védekezési célt egyéb megfontolások zárják ki. Akár a lapátorrú toknál, a toknál vagy a kacsacsőrű emlős csőrénél, a trilobita csőszája olyan valamikkel van teleszórva, amelyek zsákmány nyomon követésére használt érzékelőreceptornak tűnnek. Turvey nem ismer olyan mai ízeltlábút, amely elektromosan érzékelne (ami az ízeltlábúak sokoldalúsága miatt érdekes önmagában), de fogadni merne, hogy a *Reedocalymene* egy újabb „lapátorrú tok" vagy „kacsacsőrű emlős". Reméli, hogy hamarosan hozzáfoghat, hogy kidolgozza e kérdést.

Más halaknak ugyan nincs a kacsacsőrű emlőséhez vagy a lapátorrú tokéhoz hasonló, Nimrodszerű „antennája", rendelkeznek viszont egy még ennél is kifinomultabb elektromos érzékkel. Nem elégedvén meg a zsákmány által véletlenül kiadott elektromos jelek felszedésével, ezek a halak saját elektromos mezőt gerjesztenek, és e maguk gerjesztette elektromos mezőkben jelentkező torzulásokat leolvasva tájékozódnak, és derítik föl zsákmányukat. Néhány porcos rája mellett a csontos halak két csoportja, a dél-amerikai elektromos angolnák és az afrikai Mormyridea család egymástól függetlenül juttatta ezt a megoldást művészi fokra.

Hogyan termelnek ezek a halak saját elektromosságot? Ugyanúgy, ahogy a rákok, a rovarlárvák és a kacsacsőrű emlős más zsákmányai is teszik szándékolatlanul: izmaikkal. Ám míg a rák nem tehet róla, hogy egy kis elektromosságot fejleszt, mivel az izmok felelősek érte, addig az elektromos halak úgy állítják sorba izomnyalábjaikat, mint a soros kapcsolású elemeket.* Az elektromos halaknak izomnyalábokból álló elemeik vannak, amelyek a farkuk körül rendeződnek sorba úgy, hogy a mindegyikük által termelt alacsony feszültség magasabb feszültséggé adódjék össze. Az elektromos angolna (nem az igazi angolna, hanem a dél-amerikai édesvízi angolna) a végsőkig fejlesztette ezt a módszert. Rendkívül hosszú farkába sokkal több elektromos cellát képes összezsúfolni, mint egy normál hosszúságú hal. Zsákmányát akár 600 voltnál is erősebb áramütéssel kábítja el, ami akár az emberre is halálos lehet. Más édesvízi halak, így az afrikai elektromos harcsa, a *Malapterurus* és a tengeri elektromos rája, a *Torpedo* ugyancsak akkora feszültséget termel, hogy megöli, vagy legalábbis kiüti zsákmányát.

Ezek a magasfeszültségű halak mintha – szó szerint – szédítő végletekig hajtanának egy olyan képességet, amely eredetileg a halak tájékozódására és a zsákmány felkutatására szolgáló egyfajta radar volt. Az alacsonyfeszültségű halak, így

* Természetesen az *elem* szó elektronikai értelmében eredetileg sorban lévő elemcellákat jelentett, szemben az egyetlen cellával. Ha a zsebrádiónk hat elemet fogad be, akkor egy pedáns kötné az ebet a karóhoz, hogy valójában egyetlen, hat cellából álló elemről van szó.

például a dél-amerikai *Gymnotus* vagy a nem rokon afrikai *Gymnarchus* az angolnáéhoz hasonló elektromos szervvel rendelkezik, de jóval rövidebbel – elemük csak néhány, sorba rendezett módosult izomlemezből áll, egy alacsonyfeszültségű elektromos hal pedig általában egy voltnál alacsonyabb feszültséget gerjeszt. A hal merev pálcaként tartja magát a vízben, aminek, mint látni fogjuk, alapos oka van. Az elektromos áram olyan görbe vonalakon áramlik körötte, amelyek örömmel töltenék el Michael Faradayt. A test oldala mentén elhelyezkedő pórusok elektromos érzékelőket tartalmaznak – parányi feszültségmérőket. Ezek a kis feszültségmérők érzékelik a mezőt különféle módon eltorzító akadályokat vagy zsákmánynak valókat. A különféle feszültségmérőket leolvasva és a kapott értékeket megfeleltetve a mező saját (némely fajoknál szinuszos, másoknál impulzusos) ingadozásával a hal képes kiszámítani a zsákmány vagy az akadály hollétét. Elektromos szerveiket és érzékelőiket az egymással való kommunikációra is felhasználják.

Egy olyan dél-amerikai elektromos hal, mint a *Gymnotus* figyelemre méltóan hasonlít afrikai párjára, a *Gymnarchus*ra, mégis van köztük egy árulkodó különbség. Mindkettőjüknek egyetlen hosszú úszó fut végig a középvonalukon, amelyet mindketten ugyanarra a célra használnak. Testüket nem tudják egy úszó hal normál szinuszhullámai szerint mozgatni, mert ezzel eltorzítanák az elektromos érzékelést. Mindketten kénytelenek mereven tartani a testüket, így a hosszanti úszó segítségével úsznak, amely viszont szinuszosan hullámzik, ahogy egy rendes halhoz illik. Lassan úszik tehát, de feltehetőleg megéri, hogy inkább a szép tiszta jelet kamatoztathassa. Mindebben az a gyönyörű, hogy míg a *Gymnarchus* a hátán, addig a *Gymnotus* a többi dél-amerikai elektromos hallal, így az elektromos „angolnával" együtt a hasán viseli a hosszanti uszonyt. Ilyen esetek miatt fogalmazták meg a „kivétel erősíti a szabályt" mondást.

Visszatérve a kacsacsőrű emlőshöz: a mese csattanója valójában a hím kacsacsőrű emlős hátsó karmaiban rejlik. A bőr alá befecskendező mérgező fullánkokat különféle gerinctelen fajoknál, a gerincesek között pedig a halaknál és a hüllőknél találunk, de a madaraknál és az emlősöknél a kacsacsőrű emlős kivételével soha (hacsak nem számítjuk ide némely cickány mérgező nyálát, amelytől harapásuk enyhén mérgező). A hím kacsacsőrű emlős külön kategória az emlősök között, és külön kategória lehet a mérgező állatok között is. Az, hogy a fullánk csak a hímekben fordul elő, elég meglepő módon arra utal, hogy nem is a ragadozók (mint a méhek), nem is a zsákmány ellen (mint a kígyók), hanem a vetélytársak ellen szánták. Nem veszélyes, de rendkívüli fájdalmat okoz, ami még a morfiumra sem enyhül. Úgy tűnik, mintha a kacsacsőrű emlős mérge közvetlenül magukra a fájdalomreceptorokra hatna. Ha a tudósok megértenék a működését, remény lenne rá, hogy megtaláljuk a rák által okozott fájdalom leküzdésének a kulcsát.

Ez a mese azzal kezdődött, hogy megfedtük a kacsacsőrű emlőst „primitívnek" nevező zoológusokat, mintha ez bármiképp is megmagyarázná, miért ilyen. A legjobb esetben is leírásról van szó: a primitív annyit jelent, mint ősre hasonló, és a kacsacsőrű emlősre ez a leírás sok szempontból meglehetősen találó. A csőr és a fullánk érdekes kivételek. Ám a mesének ennél fontosabb tanulsága az, hogy még egy minden tekintetben valóban primitív állat primitívségének is oka van. Az ősi tulajdonságok jók az adott életmódban, úgyhogy nincs értelme a változásnak. Ahogy a Liverpooli Egyetemen Arthur Cain professzor előszeretettel mondogatta, egy állat azért él úgy, ahogy, mert úgy kell élnie.

Mit mondott a csillagorrú vakondok a kacsacsőrű emlősnek?

A csillagorrú vakondok, amely a 11. találkozáson, a többi laurázsiaival együtt csatlakozott a zarándoklatunkhoz, mély figyelemmel és csökött, gombostűfejnyi szemében egyre nagyobb elismeréssel hallgatta *A kacsacsőrű emlős meséjét*. „Úgy van!" – visította túl magas hangon ahhoz, hogy némely nagyobb termetű zarándok meghallja, miközben izgatottan csapkodta ásóit: „Velem is épp ez a helyzet... legalábbis efféle."

Nem, ez nem fog menni. Chaucer példájára legalább egy fejezetet annak akartam szentelni, mit mondott egyik zarándok a másiknak, de szándékomat a címre és az első bekezdésre korlátozom, és most visszatérek bevált eljárásomhoz, és saját szavaimmal folytatom a mesét. Talán Bruce Fogle (*101 Questions your Dog would Ask its Vet* – Kutyánk 101 kérdése az állatorvosától) vagy Olivia Judson (*Dr Tatiana's Sex Advice to All Creation* – Dr. Tatiana szexuális tanácsai minden lénynek) elboldogulna ezzel, de én nem.



Tapintóhártyájának érzékenysége minden képzeletünket felülmúlja Szemtől szemben egy csillagorrú vakondokkal, a *Condylura cristatával.*

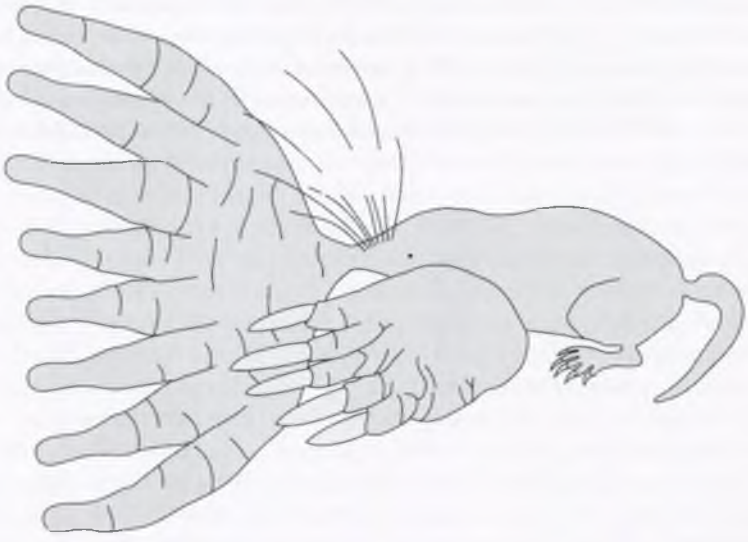
A csillagorrú vakondok, a *Condylura cristata*, ez az észak-amerikai vakondok, amellett hogy más vakondokok módjára járatokat ás és férgekre vadászik, jó úszó is, így a víz alatti zsákmányt sem hagyja ki, és gyakran ás mély járatokat a folyópartokon. A föld fölött is otthonosabban mozog a többi vakondoknál, ahol ugyancsak a nedves, vizenyős helyeket kedveli. Nagy ásólábai vannak, akár a többi vakondoknak.

Ami megkülönbözteti, az különleges orra, amelyről a nevét kapta. A két előreálló orrlyukat húsos tapogatókból álló, különleges gyűrű övezi, amely úgy néz ki, mint egy 22 karú tengeri anemóna csemete. A csápok nem fogásra valók. Nem is a szaglást segítik, amely másodjára jutna eszünkbe magyarázatként. A fejezet indítása ellenére még csak nem is elektromos radar, mint a kacsacsőrű emlős csőre. Valódi mibenlétüket a Tennesseeben lévő Vanderbilt Egyetem két kutatója, Kenneth Catania és Jon Kaas dolgozták ki nagyszerűen. A csillag olyan tapintószerv, mint egy rendkívül érzékeny kéz, csak éppen fogási szerepköre hiányzik, s ehelyett az érzékelésre esik a hangsúly. Viszont nem holmi közönséges tapintószervről van szó. A csillagorrú vakondok tapintóhártyájának érzékenysége minden képzeletünket felülmúlja. Az orrát fedő bőr érzékenyebb, mint bármely egyéb bőrfelület az emlősök világában, beleértve a mi kezünket is. Mindkét orrlyukat 11 tapogató övezi, melyeket számmal jelölünk. A középvonal mellett, közvetlenül az orrlyuk szintje alatt elhelyezkedő 11. csáp különleges, s hogy miért, azt egy percen belül megtudjuk. Bár fogásra nem használatosak, a csápok mozognak: külön-külön vagy sajátos csoportosításban. Az egyes csápok felületét Eimer-szerveknek nevezett kis dudorok borítják szabályos elrendezésben, melyek mindegyike tapintásérzékelő egység. A 11. csápon hét, a többi csápon legalább négy idegrost található.

Az Eimer-szervek sűrűsége minden tapogatón azonos. A 11. csápon kevesebb van, minthogy kisebb, viszont több ideg látja el őket. Cataniának és Kaasnak sikerült feltérképeznie a tapogatók agyi kapcsolatait. Megállapították, hogy az orrcsillagnak (legalább) kettő területe van az agykérgen. E két agytájék mindegyikén az egyes tapogatóknak megfelelő agyrészletek sorrendben helyezkednek el. A 11. tapogató megint csak különleges, mivel érzékenyebb a többinél. Amikor valamely tapogató először érzékel egy tárgyat, az állat úgy mozgatja a csillagot, hogy a 11. tapogató tüzetesebben is megvizsgálhassa. Csak ezután hozza meg a döntést, hogy megegye-e vagy sem. Catania és Kaas a 11. tapogatót a csillag sárgafoltjának nevezi.* Általánosabban így írnak róla:

> Jóllehet a csillagorrú vakondok orra tapintásérzékelő felületként viselkedik, mégis anatómiai és viselkedésbeli hasonlóságok állnak fönn a vakondok tapintórendszere és a többi emlős látórendszere között.

Ha egyszer a csillag nem elektromos érzékelő, miért a nagy együttérzés a kacsacsőrű emlőssel a fejezet elején? Catania és Kaas elkészítette a testfelület egyes részeire jutó agyszövet viszonylagos mennyiségének modelljét, és Penfield homunculusának, valamint Pettigrew kacsacsőrűcskéjének mintájára kaptak egy ilyen vakondokocskát. Nézzük csak meg!**



Láthatjuk, hol találhatók prioritásai
A csillagorrú vakondok „vakondokocska" agytérképe. Catania és Kaas nyomán [41].

Láthatjuk, hol találhatók a csillagorrú vakondok prioritásai. Átérezhetjük a csillagorrú vakondok világát. Márpedig itt az *érzés* a megfelelő szó. Ez az állat egy tapintott világban él, amelyet az orr tapogatói uralnak, némi járulékos érdeklődéssel a hatalmas ásólábak és a bajusz iránt.

Milyen lehet csillagorrú vakondoknak lenni? Kísértést érzek, hogy felvessem a denevérek esetében egyszer már megpendített eszme csillagorrú megfelelőjét. A denevérek a hangok világában élnek, ám amit ők művelnek a fülükkel, az nagyjából ugyanaz, mint amit mondjuk a fecskékhez hasonló rovarvadász madarak művelnek a szemükkel. Az agynak mindkét esetben meg kell alkotnia egy háromdimen-

* A fovea vagy sárgafolt az emberi retina közepén található kis terület, ahol a csapsejtek tömörülnek, elősegítve, hogy mind az élesség, mind a színlátás a lehető legjobb legyen. A foveánkkal olvasunk, ezzel ismerjük fel egymás arcát, és végzünk mindent, amely vizuális megkülönböztetést igényel.

** Vegyük figyelembe, hogy a „vakondokocska" egyes részei az általunk látott részek mögött rejtőznek.

ziós világ belső modelljét, hogy nagy sebességgel tájékozódni tudjon, miközben kikerüli az akadályokat, és elkap apró, mozgó célpontokat. A világ modelljének ugyanolyannak kell lennie, akár a fénysugarak, akár a visszhangok segítségével alkották is meg és frissítik fel. Úgy sejtettem, egy denevér (a visszhangok segítségével) valószínűleg úgy „látja" a világot, mint egy fecske vagy egy ember, akik a fényt kihasználva látnak.

Odáig merészkedtem, hogy elgondolkodtam azon, nem hallanak-e a denevérek színesben. Az általunk látott színárnyalatok nincsenek szükségszerű kapcsolatban az általuk képviselt fényhullámhosszal. Az az érzet, amit én vörösnek nevezek (és senki sem tudja, hogy az én vörösöm ugyanaz-e, mint az olvasóé), csupán a hosszú hullámhosszú fényre akasztott esetleges címke. Éppúgy ráakaszthatnánk a rövid hullámhosszakra (kék) és arra az érzetre, amelyet a rövid hullámhosszak váltanak ki bennünk. Azok a színérzetek az agyban a rendelkezésre állnak ahhoz, hogy a lehető legkönnyebben ráakasszuk őket a külvilágban bármire. A denevéragyban azok az élénk érzetek csupán elpazarlódnának a fényre. Esetükben valószínűleg sokkal inkább valamely akadály vagy zsákmány felületének textúrájáról visszaverődő visszhang különböző minőségeire aggatott címkékként használatosak.

Az a gyanúm, hogy a csillagorrú vakondok az orrával „lát". Sejtésem szerint az általunk színnek nevezett érzetekkel ők a tapintási érzeteket címkézik fel. Ugyanígy azt gyanítom, hogy a kacsacsőrű emlősök a csőrükkel „látnak", és a színnek nevezett érzetekkel elektromos érzeteket címkéznek fel magukban. Lehet, hogy ezért zárja szorosra a kacsacsőrű emlős a szemét, miközben elektromos úton a csőrével vadászik? Lehet, hogy azért van ez, mert a szem és a csőr versengenek az agyban a belső érzetcímkékért, és ha mindkét szervet egyszerre használná, akkor megzavarodna?

Emlősszerű hüllők

Most, hogy a tojásrakó emlősök is hozzánk csapódtak, az emlős zarándokok egész serege egyfolytában 130 évet – két mérföldkő között a leghosszabb szakaszt – masírozik vissza a 16. találkozás felé, ahol egy, a miénknél is nagyobb zarándokcsapat csatlakozik hozzánk: a Sauropsidáké, a hüllőké és a madaraké. Ez nagyjából valamennyi gerincest jelenti, amelyek a szárazföldön nagy, vízhatlan héjú tojásokat raknak. Részben azért kell mondanom „nagyjából", mert a tojásrakó emlősök, amelyek már csatlakoztak hozzánk, ugyancsak efféle tojásokat raknak. Még az egyébként teljesen tengerben élő teknősök is kivonszolják magukat a partra, hogy ott rakják le tojásaikat. A Plesiosaurusok valószínűleg ugyanígy cselekedtek. Az Ichthyosaurusok viszont annyira az úszásra szakosodtak, hogy feltehetően egyáltalán nem tudtak partra jönni, mint ahogy a később rájuk hasonlító delfinek sem. Egymástól függetlenül felfedezték, hogyan szüljenek eleven utódokat – miként az a szülés közben elpusztult és fosszilizálódott anyák kövületeinek feltárásával kiderült.*

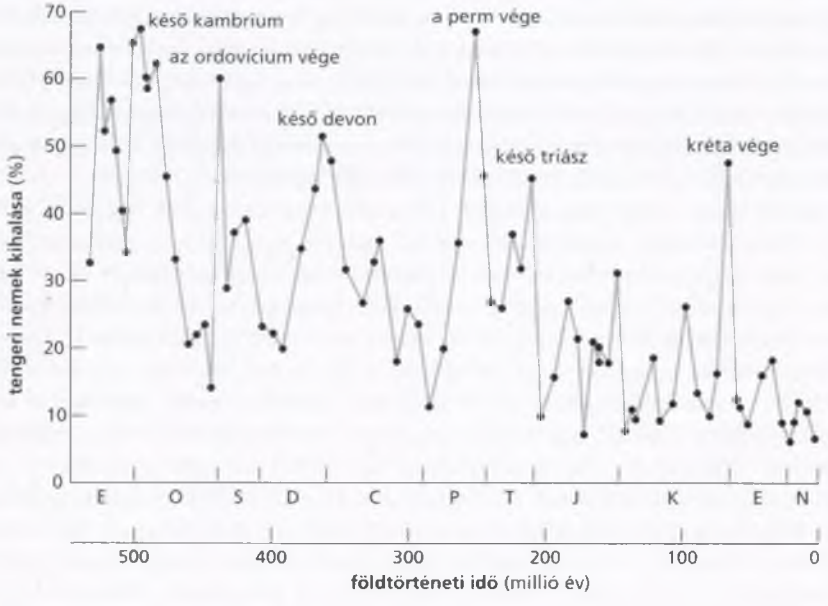
* Néhány távoli gyíkfaj ugyancsak felfedezte az elevenszülést.

Azt mondtam, hogy zarándokaink 130 millió évet vándoroltak mérföldkő nélkül, de természetesen a „mérföldkő nélkül" csak e könyv szokásos értelmezésében igaz: csak az élő zarándokokkal való találkozást ismerjük el mérföldkőnek. Ez idő alatt az „emlősszerű hüllők" gazdag fosszilis bizonysága szerint ősi családfánk termékeny burjánzásnak örvendett, de ezek egyike sem számít „találkozásnak", mivel – mint kiderült – egyikük sem maradt fenn. Így aztán nincs mai képviselőjük, amely a jelenből zarándokként felkerekedhetne. Amikor hasonló problémába ütköztünk a hominidáknál, úgy döntöttünk, hogy bizonyos kövületeket az „árnyékzarándok" megtisztelő státusával ruházzuk föl. Mivel őskereső zarándokok vagyunk, akik valóban kíváncsiak rá, hogyan nézett ki 100 milliomodik nagyszülőnk, nem hagyhatjuk figyelmen kívül az emlősszerű hüllőket, és ugorhatunk egyenesen a 16. köz-őshöz. A 16. köz-ős, miként majd meglátjuk, úgy festett, mint egy gyík. A szakadék a 15. köz-őstől, amely viszont cickányra hasonlított, túl széles ahhoz, hogy áthidalatlanul hagyjuk. Árnyékzarándokokként kell megvizsgálnunk a hüllőszerű emlősöket, mintha menetünkhöz csatlakozó eleven zarándokok volnának, jóllehet meséket nem mondanak. Ám először is néhány háttér-információt veszünk sorra a szóban forgó időszakról, mert bizony az rendkívül hosszú.

A találkozás-mérföldkő nélküli közbenső évek átívelnek a fél jurán, az egész triászon és permen, és a karbon utolsó tízmillió évén. Amint zarándokaink visszafelé tartanak a jurából a triász melegebb és szárazabb világába – amely egyik legmelegebb időszak volt bolygónk történetében, amikor az összes szárazföld a Pangeába forrott össze –, elhaladunk a felső triász tömeges kipusztulása mellett, amikor

az összes fajok háromnegyede kihalt. Ám mindez semmi a következő, a triászból a perm időszakba való átmenethez képest. A perm és a triász határán a fajok 90 százaléka tűnt el lesújtó módon, utódok nélkül, köztük a trilobiták és több más jelentős állatcsoport. Őszintén szólva, a trilobiták már hosszú ideje hanyatlottak. Ám a perm végi tömeges kipusztulás volt minden idők legpusztítóbbja. Ausztráliából származó bizonyítékok szerint ezt is, akárcsak a krétait, egy Földünknek ütköző roppant tűzgolyó okozta. Még a rovarok is súlyos csapást szenvedtek – az egyetlent történelmük során. A tengerben a tengerfenéklakó közösségek csaknem teljesen kipusztultak. A szárazföldön az emlősszerű hüllők Noéja a *Lystrosaurus* volt. A zömök, rövid farkú *Lystrosaurus* a katasztrófa után rendkívüli mértékben elterjedt az egész világon, és gyorsan betöltötte a megüresedett szerepeket.

Az apokaliptikus mészárlással kapcsolatos természetes képzettársítások finomításra szorulnak. A kihalás csaknem minden faj végső sorsa. A valaha élt összes fajok talán 99 százaléka kipusztult. Az egymillió évre vetített kihalási arány mégsem állandó, és csak alkalmanként haladja meg a 75 százalékot, amit önkényesen a „tömeges" kipusztulás küszöbértékének tekintünk. A tömeges kipusztulások a kihalási arány háttérértéke fölé emelkedő tüskék.



A tengeri nemek százalékos kihalása a phanerozoikus eonon keresztül. Sepkoski nyomán [260].

A grafikon millió évekre bontva mutatja a kihalási arányokat.* Valami történt azoknál a tüskéknél. Valami rossz. Talán egyszeri katasztrofális esemény, egy ahhoz hasonló összeütközés egy roppant égi kővel, mint amilyen a 65 millió évvel ezelőtti kréta–paleogén kihalásban megölte a dinoszauruszokat. Vagy, miként az öt tüske közül más esetekben, az agónia elhúzódhatott. Az, amit Richard Leakey és Roger Lewin a hatodik kihalásnak nevezett, éppen javában zajlik a *Homo sapiens* – vagy ahogy jó öreg némettanárom, William Cartwright** szokta mondani, a *Homo insipiens* – közreműködésével.

* Az abszolút értékek 75 százaléknál alacsonyabbak, mert nemekre és nem fajokra vonatkoznak. A fajok abszolút értékei magasabbak a nemekénél, mivel minden nem sok fajt foglal magában, így a nemet nehezebb kipusztítani, mint a fajt.

** Figyelemre méltó, bozontos szemöldökű, lassú beszédű férfi volt, aki nevén nevezte a dolgokat. Cartwright úr, akit ritkán láttunk ásó nélkül, jóval a divatja előtt felfedezte a környezetvédelmi mozgalmat, így német tudományunk kárára, de emberré faragásunk javára óráit ökológiával töltötték.

Mielőtt rátérnénk az emlősszerű hüllőkre, előbb egy kissé fárasztó terminológiával kell megküzdenünk. Az olyan fogalmak, mint *hüllő* és *emlős* vonatkozhat „kládra" vagy „fokozatra" (gradus) – és ezzel még nincs vége. A klád olyan állathalmaz, amely egy ősből és valamennyi leszármazottjából áll. A „madarak" jó példát jelentenek a kládra. A „hüllők" hagyományos értelmezésben nem jó klád, mert nem tartalmazza a madarakat. A biológusok a hüllőkre következetesen „parafiletikusként" hivatkoznak. Némely hüllő (például a krokodilok) közelebbi unokatestvérei némely nem hüllőnek (madarak), mint más hüllőknek (teknősök). Azon az alapon, hogy a hüllők mind rendelkeznek valami közös tulajdonsággal, *fokozat*ba és nem kládba tartoznak. A fokozat olyan állatok halmaza, amelyek egy felismerhetően előremutató evolúciós folyamatban hasonló szintre jutottak.

Az amerikai zoológusok által kedvelt másik nem hivatalos fokozatnév a „herp". A herpetológia a hüllők (a madarak kivételével) és a kétéltűek tudománya. A herp egyszerűen egy herpetológus által tanulmányozott állat, márpedig ez eléggé béna meghatározása egy állatnak. Az egyetlen másik név, amely közelíti a célt, a bibliai „csúszómászó".

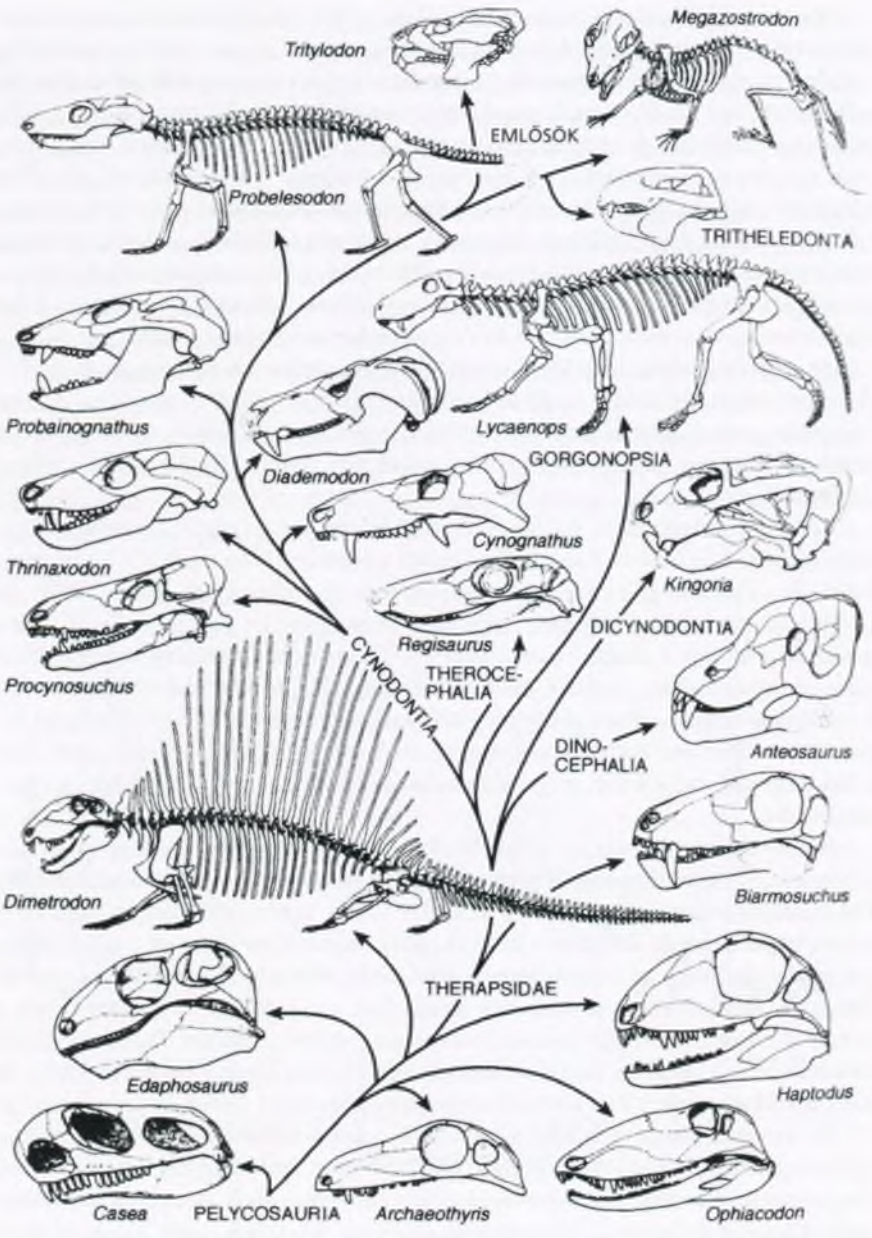
Egy másik fokozatnév a halaké. A „halak"-ba tartoznak a cápák, különböző foszszilis csoportok, a csontos halak (mint például a pisztráng és a csuka) és a bojtosúszós halak. Ám a pisztrángok közelebbi unokatestvérei az embereknek, mint a cápáknak (a bojtosúszós halak pedig még közelebbi unokatestvérei az embereknek, mint a pisztrángok). Így a „halak" nem kládot jelöl, mert nem tartalmazza az embereket (sem az összes emlőst, madarat, hüllőt és kétéltűt). Többé-kevésbé lehetetlen a fokozat terminus pontosítása. Az Ichthyosaurusok és a delfinek halszerűen néznek ki, és minden bizonnyal halízűek is lennének, ha megennénk őket, mégsem tartoznak a hal „fokozat" tagjai közé, mivel nem halszerű ősökön keresztül *tértek vissza* a halszerűséghez.

A fokozatterminológia jól működik, ha erősen hiszünk abban, hogy az evolúció egy közös kiindulópontból párhuzamos vonalakon egy irányba halad előrefelé. Ha mondjuk valaki úgy véli, hogy az összes rokon ágazat mind függetlenül, egymással párhuzamosan alakult ki a kétéltűségből a hüllőségen át az emlősségig, akkor azt mondjuk, hogy az emlős fokozat felé tartva áthaladtunk a hüllő fokozaton. Valamire, ami hasonlít a párhuzamos haladáshoz, sor kerülhetett. Engem ebben a nézetben nevelt tisztelt gerinces-paleontológia tanárom, Harold Pusey. Sok időt áldoztam erre a kérdésre, pedig nem olyan valami, amit készpénznek kell venni, és nem is szükségszerűen kell a terminológiában ereklyeként őrizni.

Ha viszont a másik szélsőségbe hajlunk, és a szigorú kladista terminológiát tesszük magunkévá, a *hüllő* szó csak úgy menthető meg, ha beleértjük a madarakat is. Ezt az irányt részesítette előnyben a Maddison testvérek által támogatott, iránymutató „Életfa" vállalkozás.* Sok mindent a javukra lehet írni, mint ahogy az ettől gyökeresen eltérő taktika javára is, amikor az „emlősszerű hüllőt" „hüllőszerű emlősre" cseréljük föl. Ám a *hüllő* szó annyira megrögződött hagyományos értelmében, hogy félek, zavart okozna, ha most lecserélném. Ugyanakkor a szigorú kladista tisztaságmánia olykor nevetséges eredményre vezet. Íme, egy *reductio ad absurdum*. A 16. köz-ősnek bizonyára volt egy közvetlen utódja az emlős és egy a gyík-dinoszaurusz-krokodil oldalon. E kettőnek csaknem meg kellett egyeznie. Valójában lennie kellett olyan időnek, amikor kereszteződhettek egymással. Egy szigorú kla-

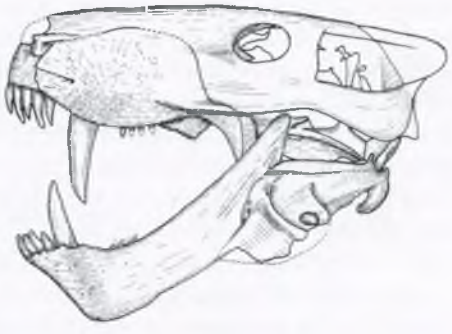
* Ezt a kitűnő forrást folyamatosan bővítik a *http://tolweb.org/tree* weboldalon, melynek szellemes mentegetőzése így hangzik: „A Fa építés alatt áll. Kérjük, legyen türelemmel: a valódi Fa 3.000.000.000 év alatt nőtt meg."

A DINOSZAURUSZOK ELŐTT
Az emlősszerű hüllők filogenetikai rokonsága. Tom Kempf nyomán [151].



dista mégis ragaszkodna hozzá, hogy az egyiket Sauropsidának, a másikat emlősnek nevezze. Szerencsére a gyakorlatban nem gyakran lyukadunk ki ilyen *reductio*ra, de nem árt az ilyen elméleti eseteket a kladista tisztaságmániásoknak felidézniük, amikor magas lóról kezdenek beszélni.

Annyira hozzászoktunk a gondolathoz, hogy az emlősök a dinoszauruszok utódai, hogy meglepőnek találhatjuk, hogy az emlősszerű hüllők a már dinoszauruszok felemelkedése előtt virágoztak. Ugyanazokat a szerepeket töltötték be, amiket később a dinoszauruszok, majd még később maguk az emlősök. Valójában ezeket a szerepeket nem is egyszer, hanem egymás után többször is betöltötték, és ezeket az alkalmakat jelentős kihalások választották el egymástól. Az élő zarándokokkal való találkozások mérföldköveinek hiányában három árnyékszerű mérföldkövet fogadok el, hogy összekössék a 15. köz-őst (amely a tojásrakó emlősökhöz köt bennünket, és úgy festett, mint egy cickány) a 16. köz-őssel (aki a madarakhoz és a dinoszauruszokhoz kapcsol bennünket, és egy gyíkhoz hasonlított). Kollégámtól, Tom Kemptől, az emlősszerű hüllők egyik vezető szaktekintélyétől kölcsönöztem a szemközti oldalon az emlősszerű hüllők némelyikét és kapcsolataikat feltüntető ábráját.

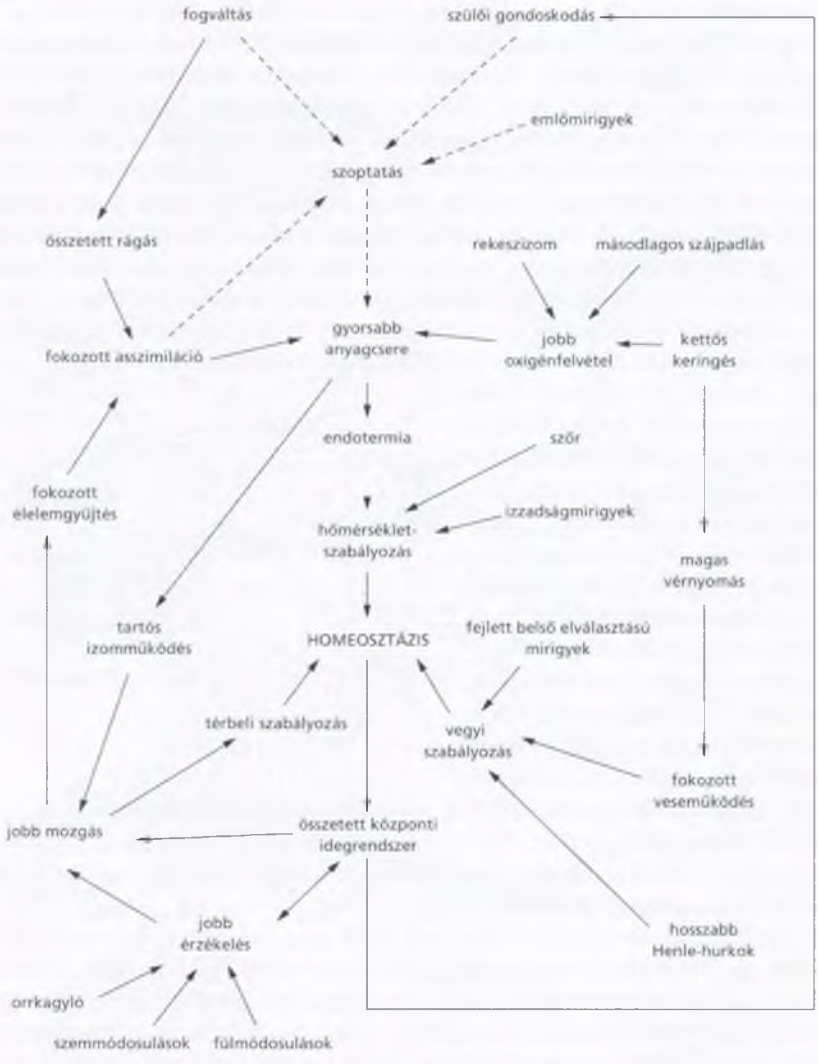


Ez ette volna meg 160 milliomodik ősatyánkat? Gorgonopsia-koponya. Tom Kemp rajza.

150 milliomodik ősanyánk valahogy úgy nézhetett ki, mint a középső triászban élt *Thrinaxodon*. Fosszíliái Afrikából és az Antarktiszról kerültek elő, hiszen e két földrész egykor a Gondwana része volt. Túlzás lenne azt remélni, hogy maga is *Thrinaxodon* volt, vagy bármelyik másik kövület, amit történetesen megtaláltunk. A *Thrinaxodon*ról, mint bármely kövületről feltételezhetjük, hogy unokatestvére volt az ősünknek, de aligha ő volt az ős maga. Az emlősszerű hüllők Cynodontiának nevezett csoportjába tartozott, amelyek olyannyira emlősszerűek voltak, hogy az ember kis híján annak is nevezi őket. De kit érdekel, hogy hívjuk őket? Csaknem tökéletes köztes lények. Minthogy evolúció zajlott, furcsa is lenne, ha nem lennének a Cynodontiákoz hasonló köztes lények.

A Cynodontiák azok közé a csoportok közé tartoztak, amelyek az emlősszerű hüllők egy Therapsidának nevezett korábbi csoportjából sugároztak ki. 160 milliomodik nagyapánk talán egy, a perm időszakban élt Therapsida volt, de nehéz lenne kiszúrni egy meghatározott kövületet, hogy lám, ez volt az. A Therapsidák uralták a szárazföldeket, mielőtt a dinoszauruszok megérkeztek volna a triász időszakban, de még magában a triászban is megfuttatták a dinoszauruszokat a pénzük után. Hatalmas állatok is akadtak köztük: három méter hosszú növényevők és rájuk vadászó húsevők. Ezek közé tartoztak a Gorgonopsiák (lásd a fenti képet), amelyek félelmetes szemfogai a későbbi korok kardfogú macskáit és erszényeseit juttatják eszünkbe.

Therapsida ősünk talán kisebb és jelentéktelenebb lény volt. Szabálynak tűnik, hogy az olyan nagy és specializálódott állatok, mint ezek a fogas Gorgonopsiák és zsákmányállataik, a nagy növényevők, nem számíthatnak hosszú evolúciós jövőre, hanem a 99 százalékban kihalásra ítélt fajok közé tartoznak. A Noé-fajok, vagyis az az 1 százalék, amelytől mi valamennyien származunk – akár nagyok és látványosak voltak saját korukban, mint mi magunk is, akár nem –, általában kisebbek és visszavonultabbak.



Az emlősök kialakulása
Az emlőstulajdonságok kialakulását a morfológia és az anyagcsere közti bonyolult kölcsönhatások eredményeként is elgondolhatjuk, amit itt a következő hálózat jelenít meg. Tom Kemp nyomán [150].

A korai Therapsidák kissé kevésbé voltak emlősszerűek, mint utódaik, a Cynodontiák, de jobban emlősszerűek voltak elődeiknél, a Pelycosaurusoknál, amelyek az emlősszerű hüllők korai kirajzását képviselték. A Therapsidák előtti, 165 milliomodik ősszülőnk csaknem biztosan Pelycosaurida volt, de még egyszer hangsúlyozom, meggondolatlanság lenne kiválasztani egy bizonyos kövületet erre a tisztségre. A Pelycosauridák az emlősszerű hüllők legkorábbi hullámát képviselték. A nagy kőszéntelepek kialakulásának időszakában, a karbonban virágoztak. A legismertebb Pelycosaurida a *Dimetrodon*, amely hatalmas vitorlát viselt a hátán. Senki sem tudja, a *Dimetrodon* mire használta a vitorláját. Talán napelemként segítette az állat felfűtését olyan hőmérsékletre, amelyen izmait használni tudta, és/vagy netán radiátorként hűtötte le az árnyékban, ha a helyzet felforrósodott. Az is lehet, hogy szexuális hirdetés volt, a pávalegyező csontos megfelelője. A Pelycosauridák nagyrészt mind

kipusztultak a perm időszakban, kivéve azt a Noé-Pelycosauridát, amelyből az emlősszerű hüllők második hulláma, a Therapsidáké eredt. A Therapsidák aztán azzal töltötték a triász időszak első felét, hogy „újra felfedezzenek számos, a felső perm idején eltűnt testformát".*

A Pelycosauridák kevésbé voltak emlősszerűek, mint a Therapsidák, amelyek viszont a Cynodontiáknál voltak kevésbé emlősszerűek. A Pelycosauridák például a hasukon terpeszkedtek, mint a gyíkok, miközben a lábaik oldalra kiálltak. Járásukban valószínűleg volt valami halszerű mozzanat. A Therapsidák, majd a Cynodontiák jóval magasabban tartották a hasukat a földtől, lábaik függőlegesebbé váltak, és járásuk kevésbé emlékeztetett egy partra vetett haléra. A többi emlősszerű folyamat – amit talán csak az emlős voltunk utólagos okoskodása miatt tekintünk előremutatónak – az alábbiakra terjedt ki. Az alsó állkapocs egyetlen csontra, a dentariumra csökkent, mivel többi csontjait a fül magához rendelte (ahogy azt a 15. találkozáson láttuk). Bár a kövületek nem sokat segítenek az alábbiak pontos meghatározásában, őseink valamikor szőrt növesztettek, aztán egy hőszabályozót, tejet és fejlett szülői gondoskodást, valamint változatos célokra fordítható fogazatot fejlesztettek ki. Tom Kemp az emlősök kialakulásához vezető folyamatot egy időben zajló, egymással bonyolult kölcsönhatásban lévő változásoknak látja. Szerintem ábrája (szemközt) jól érzékelteti az olyasféle folyamatokat, amelyek vélhetően a többi jelentős evolúciós átmenetben is lezajlottak, ezért is akartam itt feltüntetni. Rengeteg látszólag különálló, ám feltehetően kapcsolatban lévő dolog változik meg egyszerre. A változások egymást táplálják oly módon, amit szavakkal nehéz megragadni, de tömören kifejezhető egy olyan ábrával, mint Kempé. Ne bonyolódjunk bele a részletekbe; igazából az egyidejű változások és a bonyolult kölcsönhatások eszméje a lényeg.

Az előzőekben az emlősszerű hüllőhöz fűző kapcsolatainkat – „árnyékzarándokainkat" – három főhullámban mutattam be: a Pelycosaurusok, a Therapsidák és a Cynodontiák hullámaiként. Maguk az emlősök egy negyedik hullámot képviseltek, ám az ő evolúciós betörésük a jól ismert helyi változatok sokféleségébe 150 millió évvel eltolódott. Először a dinoszauruszoknak kellett próbát tenniük, márpedig kísérletük kétszer olyan hosszú ideig tartott, mint az emlősszerű hüllők három hullámáé együttvéve.

Visszautunkon az „árnyékzarándokok" három csoportjából a legkorábbi, egy meglehetősen gyíkszerű Noé-Pelycosauridához vezetett bennünket, 165 milliomodik ősszülőnkhöz, amely mintegy 300 millió évvel ezelőtt, a triász időszakban élt. Csaknem elértük a 16. találkozóhelyet.

* Ez a szerencsés megfogalmazás A. Hallam és P. B. Wignall *Mass Extinctions and their Aftermath* (Tömeges kihalások és következményeik) című könyvéből származik.

16. TALÁLKOZÁS ■ SAUROPSIDÁK

16

SZEMKÖZTI OLDAL
A HÜLLŐK (KÖZTÜK A MADARAK) CSATLAKOZNAK
A szárazföldi gerincesek evolúciójában áttörést jelentett az *amnion*, ez a vízhatlan, mégis lélegző tojáshártya. Ezeknek az „amniotáknak" két, korán elágazó leszármazási vonala maradt fenn máig: a Synapsida (amelyeket az emlősök képviselnek) és a Sauropsida (a „hüllők" és madarak 17 000 fennmaradt faja), amik itt csatlakoznak hozzánk. Az itt bemutatott törzsfejlődési fa meglehetősen hiteles.

KÉPEK BALRÓL JOBBRA:
közönséges földipinty *(Geospiza fortis)*; indiai páva *(Pavo cristatus)*; mandarinréce *(Aix galericulata)*; magányos tinamu *(Tinamus solitarius)*; nílusi krokodil *(Crocodylus niloticus)*; közönséges szalagossikló *(Thamnophis sirtalis parietalis)*; mediterrán kaméleon *(Chamaeleo chamaeleon)*; tuatara *(Sphenodon punctatus)*; közönséges levesteknős *(Chelonia mydas)*

A 16. köz-ős, megközelítőleg 170 milliomodik ősszülőnk, mintegy 310 millió évvel ezelőtt, a karbon időszak második felében élt, amely a trópusokon óriás korpafűfákkal borított mocsarak (a legtöbb kőszén innen ered) a Déli-sarkon pedig kiterjedt jégsapka kora volt. Ezen a találkozóhelyen új zarándokok sokasága csatlakozik hozzánk: a Sauropsidáké. A Sauropsidák messze a legnagyobb újoncalakulat, amellyel eddig dolgunk akadt zarándokutunkon. A 16. köz-ős óta eltelt idő zömében a Sauropsidák a dinoszauruszok formájában uralták a bolygót. Még ma, a dinoszauruszok letűntével is háromszor annyi Sauropsida-faj van, mint emlős. A 16. találkozáson körülbelül 4600 emlős zarándok köszönti a 9600 madár- és a 7700 egyéb hüllőzarándokot: krokodilokat, kígyókat, gyíkokat, a tuatarákat és a teknősöket. Ők alkotják a szárazföldi gerincesek legnagyobb csoportját. Egyedül azért tekintem úgy, mintha ők csatlakoznának hozzájuk, és nem mi hozzájuk, mert önkényesen úgy döntöttünk, emberi szemmel nézzük az utazást.

Sauropsida-szemmel a velünk való találkozást „megelőzően" a teknősök csatlakoztak utolsóként zarándoklatukhoz (ideértve a szárazföldi, a vízi és a dobozpáncélú teknősöket is). A Sauropsida alakulat tehát a teknősökből és a többiekből áll. A „többieket" két főcsoport együttese alkotja: a gyíkszerű hüllők, amelybe a kígyók, kaméleonok, iguánák, a komodói sárkánygyíkok és a tuatarák tartoznak; valamint a dinoszaurusz(szerű) hüllők, vagy Archosaurusok, köztük az őskori szárnyasgyíkok, a krokodilok és a madarak. A nagy vízihüllő csoportok, mint az Ichthyosaurusok és Plesiosaurusok nem dinoszauruszok, hanem bármi másnál inkább gyíkszerű hüllőknek tűnnek. A szárnyasgyíkok kevésbé tarthatnak számot a dinoszaurusz névre, mint a madarak. A madarak egy bizonyos dinoszaurusz rend, a Saurischia sarjai. Az olyan Saurischia dinoszauruszok, mint a *Tyrannosaurus* és az óriás Sauropodák közelebbi rokonai a madaraknak, mint a másik fő dinoszaurusz csoportba, a szerencsétlen nevű Ornithischiába tartozó *Iguanodon*nak, *Triceratops*nak vagy a kacsacsőrű Hadrosauridáknak. Az Ornithischia jelentése 'madármedencéjű', ám a hasonlóság felszínes és megtévesztő.

A madaraknak és a Saurischia dinoszauruszok rokonságát bizonyossá tette egy tollas dinoszaurusz legutóbbi látványos felfedezése Kínában. A *Tyrannosaurus*ok közelebbi unokatestvérei a madaraknak, mint akár a többi Saurischiának, köztük az olyan hatalmas növényevő Sauropodáknak, mint a *Diplodocus* és a *Brachiosaurus*.

Ezek tehát a Sauropsida zarándokok, a teknősök, a gyíkok és kígyók, a krokodilok és madarak, az árnyékzarándokok hatalmas tömegével együtt – a Pterosaurusokkal a levegőben, az Ichthyosaurusokkal, a Plesiosaurusokkal és a Mosaurusokkal

A hüllők (köztük a madarak) csatlakoznak





a vízben, valamint mindenekelőtt a dinoszauruszokkal a földön. A jelenből induló zarándokokra összpontosítva – ahogy ez a könyv is teszi – nem lenne helyénvaló nagy feneket keríteni a dinoszauruszoknak, amelyek oly sokáig uralták a bolygót, és uralnák még ma is, ha nincs az a könyörtelen – nem, inkább közömbös – tűzgömb, amely leterítette őket. Újabb könyörtelenségnek hathat ily szőrmentén elintézni őket.* Bizonyos formában mégis fennmaradtak – mégpedig a madarak különleges és gyönyörű formájában –, és hadd adózzunk tisztelettel nekik azzal, hogy meghallgatjuk négy madár meséjét. De először is álljon itt emlékül Shelley jól ismert költeménye, az *Óda a dinoszauruszhoz (Ozymandias):*

„Egy messzi vándor jött, ki ős romok
felől regélt: A pusztán szörnyű két
nagy csonka láb áll. Arrább lágy homok
lep egy kőarcot. Homloka setét.
A vont ajk vén parancsszóktól konok
s vad szenvedélye még kivésve ég
hűs kövön, bár, mely véste, a kéz,
a s szív, hol dúlt e dölyf, temetve rég.
A talpkövön kevély igék sora:
»Király légy bár, jöjj és reszketve nézz:
nevem Ozymandiás, urak ura.«
Más semmi jel. A roppant rom körül
határtalan szélesre s hosszura
a holt homoksík némán szétterül."
(Tóth Árpád fordítása)

16. köz-ős
Ez a gyíkszerű lény a földön szétterpesztett lábakkal járt. A rekonstrukción száraz karbon kori tájban látható. Az előtérben figyeljük meg az amniota tojáskupacot.

* Más könyvek kitüntették már őket, így például David Norman *Dinosaur!*-ja, és Robert Bakker *The Dinosaur Heresies* (Dinoszaurusz-eretnekségek), s ne feledjük Robert Mash bűbájosan szeretetteli *How to Keep Dinosaurs*át (Hogyan tartsunk dinoszauruszokat).

Előhang a galápagosi pinty meséjéhez

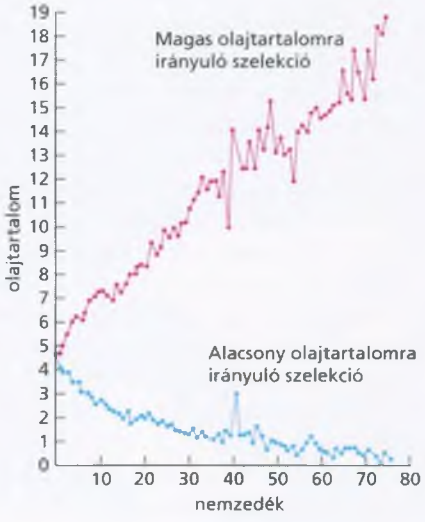
Az emberi képzelet meghunyászkodik az ősiségtől, és a geológiai idő nagysága olyannyira meghaladja a költők és régészek szemhatárát, hogy megriadhatnak tőle. Ám a geológiai idő nem csupán az emberi élet és emberi történelem meghittebb időskáláival összevetve hatalmas. Hatalmas az evolúció időskáláján is. Ez meglepheti azokat is, Darwin saját kritikusaitól kezdve, akik arról panaszkodtak, hogy a természetes kiválasztódásnak nem volt elég ideje ahhoz, hogy elszabadítsa azokat a változásokat, amelyeket az elmélet megkövetel tőle. Most jövünk csak rá, hogy a probléma, ha egyáltalán van, éppen az ellenkezője ennek. Túl sok volt az idő! Ha megmérjük az evolúciós arányokat rövid távon, majd kivetítjük, mondjuk egymillió évre, kiderül, hogy az evolúciós változások potenciális mennyisége jóval nagyobb, mint a tényleges mennyiség. Olyan ez, mintha az evolúciónak egy helyben kellett volna topognia az időszak java részében. Vagy ha nem egy helyben topogott, akkor ide-oda kószált, ki-kiöntve kanyargó hullámzásait rövid távon, bármilyen tendencia érvényesült is a hosszún.

A különféle bizonyítékok és az elméleti számítások is mind erre a következtetésre utalnak. A darwini kiválasztódás, ha mesterségesen olyan erősen erőltetjük,

amennyire csak tudjuk, az evolúciós változásokat sokkal jobban felpörgeti, mint ahogy azt a természetben valaha is láthatjuk. Ennek belátásához hasznot húzunk abból a szerencsés körülményből, hogy őseink, akár teljes tudatában annak, mit cselekszenek, akár nem, évszázadok óta szelektíven tenyésztik a háziállatokat és haszonnövényeket (lásd *A földműves meséjét*). Ezeket a látványos evolúciós változásokat minden esetben mindössze néhány évszázad, esetleg évezred alatt érték el: ez sokkal gyorsabb, mint a kövületeken mérhető leggyorsabb változás. Nem csoda, ha Charles Darwin oly sokat foglalkozott könyvében a domesztikációval.

Ugyanezt megtehetjük ellenőrzöttebb kísérleti körülmények között is. Egy természettel kapcsolatos elmélet legközvetlenebb próbaköve a *kísérlet*, amelyben az elmélet szerinti természet legfontosabb elemeit szándékosan és mesterségesen utánozzuk. Ha mondjuk elméletünk szerint a növények jobban nőnek nitrátokat tartalmazó talajban, akkor nem csupán elemezzük a talajt, hogy találhatók-e benne nitrátok, hanem kísérletileg hozzáadunk nitrátokat egyes talajokhoz, míg másokhoz nem. Ugyanez a helyzet a darwini kiválasztódással. A természetről alkotott elmélet szerint a nemzedékeken keresztül történő, nem véletlenszerű fennmaradás rendszeres módosulást okoz az átlagos formában. A kísérleti próba abból áll, hogy meg kell oldani a nem véletlenszerű fennmaradást, hogy megkíséreljük valamely kívánatos irányba terelni az evolúciót. Ez a mesterséges szelekció. A legtalálóbb kísérlet ugyanabból a kiindulópontból két, ellentétes irányba tartó vonalat vesz, amelyek egyike mondjuk nagyobb, a másik kisebb állatokat eredményez. Nyilván ha használható eredményt szeretnénk látni, mielőtt aggkori végelgyengülésben kimúlnánk, akkor olyan állatot kell választanunk, amelynek életciklusa gyorsabb a miénknél.

A gyümölcslegyek és az egerek hetekben és hónapokban számlálják nemzedékeiket, nem évtizedekben, mint mi. Az egyik kísérletben *Drosophila* gyümölcslegyeket választottak szét két „vonalra". Az egyiket több nemzedéken át arra tenyésztették, hogy kifejezetten a fény felé törekedjen. Minden nemzedékből csak a leginkább a fény felé törekvő egyedeknek tették lehetővé a szaporodást. A másik vonalat azonos számú nemzedéken keresztül következetesen az ellenkező irányra tenyésztették, vagyis hogy kerüljék a fényt. Mindössze 20 generáció múlva mindkét irányba drámai evolúciós változást értek el. Az eltérés vajon örökké ilyen arányban folyna tovább? Nem, már csak azért sem, mert a rendelkezésre álló genetikai változatok végül kimerülnének, és egy új mutációra kellene várnunk. Ám mielőtt ez bekövetkezne, rengeteg változást el lehet érni.



A SZELEKCIÓ HATALMA
A szelekció hatása a magas és alacsony olajtartalmú kukoricamagvakra több mint 90 nemzedék alatt. Dudley és Lambert nyomán [85].

A kukoricának hosszabb a generációs ideje, mint a *Drosophilá*nak, de az Illinoisi Állami Mezőgazdasági Laboratórium 1896-ban a kukoricaszemek olajtartalmára irányuló tenyésztésbe fogott. A „magas vonalat" magasabb olajtartalomra, míg az alacsony vonalat a

csökkent olajtartalomra szelektálták. Szerencsére ezt a kísérletet egy átlagos tudós kutatóéveinél jóval hosszabb ideig folytatták, és most már mintegy 90 generáció elteltével láthatjuk a magas vonal olajtartalmának egyenletes növekedését. Az alacsony vonal olajtartalma lassabban csökkent, feltehetően azért, mert már a grafikon padlóját súrolja: az olajtartalom sem lehet kisebb nullánál.

Ez a kísérlet, a *Drosophilával* végzettel és sok egyéb ugyanilyen típusúval együtt megérteti velünk a szelekció potenciális hatalmát arra, hogy az evolúciós változásokat valóban rendkívül felgyorsítsa. Fordítsuk át a 90 generációnyi kukoricát, vagy a 20 generációnyi *Drosophilát*, vagy akár a 20 generációnyi elefántot valódi időre, és akkor a geológiai skálán még mindig elhanyagolható értéket kapunk. Egymillió év, amely még mindig túl rövid ahhoz, hogy észrevehető legyen a fosszilis maradványokon, húszezerszer olyan hosszú idő, mint ami a kukoricamagok olajtartalmának megháromszorozásához kellett. Természetesen ez nem azt jelenti, hogy egymillió év szelekció az olajtartalmat hatvanezerszeresére növelhetné. Eltekintve a genetikai változatok kimerülésétől, az is korlátozott, mennyi olajat képes egy kukoricamag befogadni. Ám ezek a kísérletek óvnak attól, hogy a nyilvánvaló tendenciákat évmilliónyi fosszilis évekre elhúzódva lássuk, és naivan a folytonosan fenntartott szelekciós nyomásra adott válaszként értelmezzük őket.

A darwini szelekciós nyomások kétségtelenül léteznek. És rendkívül fontosak is, miként e könyvből is kiderül. Ám a szelekciós nyomások nem tartanak ki egyformán az olyan időskálán, amely normál esetben kövületekkel tisztázható, különösen a kövülettár régebbi részeiben. A kukorica és a gyümölcslégy tanulsága az, hogy a darwini szelekció kanyaroghat ide-oda, előre-hátra tízezerszer is, s mindez a kövületmaradványok által általunk mérhető legrövidebb idő alatt. Fogadok, hogy így történt.

A hosszabb időszakok alatt mégis vannak olyan jelentős tendenciák, amelyeket ugyancsak figyelembe kell vennünk. Egy már korábban felvetett hasonlatot ismételve, gondoljunk el egy dugót, amely Amerika atlanti partjainál bukdácsol a vízen. A Golf-áramlás általában keleti irányú hatóerőt fejt ki a dugó helyzetére, amely végül valamelyik európai parton vetődik ki. Ám ha mozgásirányát bármely pillanatban megmérjük, amint ott küzd a hullámokkal, forgókkal és örvényekkel, azt látjuk, hogy éppoly gyakran sodródik nyugat, mint kelet felé. Nem vesszük észre keleti irányú eltérését mindaddig, amíg nem jóval hosszabb időközönként veszünk helyzetéről mintát. A keleti irányú beállítódás mégis valós, jelen van, és ezért megérdemli a magyarázatot.

A természetes evolúció hullámai és forgói általában túl lassúak ahhoz, hogy rövid életünk alatt vagy akár egy szokásos kutatási ösztöndíj rövidke terjedelme alatt megfigyelhessük. Akad azonban néhány jeles kivétel. E. B. Ford, a különc és finnyás tudós iskolája, akitől oxfordi zoológus nemzedékem a genetikát tanulta, nemzedékeket szentelt vadon élő pillangó-, lepke- és csigapopulációk bizonyos génjeinek évenkénti sorsának nyomon követésére. Eredményeik bizonyos esetekben egyértelmű darwinista okfejtésnek tűnnek. Más esetekben a csapkodó hullámok zaja kioltja az örvényt magával ragadó minden esetleges Golf-áramlat jelét, és talányos eredményeket kapunk. Arra kívánok célozni ezzel, hogy hasonló talányra számíthat minden halandó darwinista – még ha oly hosszú kutatói karrier áll is mögötte, mint Fordnak. Ford egész munkásságából az egyik legfontosabb tanulságként azt a tanulságot vonta le maga számára, hogy a természetben ténylegesen

megtalálható szelekciós nyomások még akkor is nagyságrendekkel erősebbek annál, amiről a neodarwinista újjászületés legoptimistább alapítói álmodtak, ha azok nem is mindig azonos irányba húznak. És ez megint csak kihangsúlyozza a kérdést: miért nem halad gyorsabban az evolúció?

A GALÁPAGOSI PINTY MESÉJE

A vulkanikus eredetű Galápagos-szigetcsoport mindössze 5 millió éves. Létének e rövid időszaka alatt káprázatos mértékű változatosság alakult itt ki – melyek leghíresebbike a pintyek 14 faja, amelyekről széles körben, bár meglehet tévesen vélik úgy, hogy Darwin számára a döntő ösztönzést adták.* A galápagosi pintyek a világ legalaposabban tanulmányozott vadállatfajai közé tartoznak. Peter és Rosemary Grant pályafutásukat annak szentelték, hogy e kis szigetlakó madarak évenkénti sorsát tanulmányozzák. Emellett a Charles Darwin és Peter Grant (akinek arca örvendetes hasonlóságot mutat Darwinéval) közti években a nagy (ám simára borotvált) ornitológus, David Lack is figyelmes és termékeny látogatást tett itt.**



A VILÁG LEGALAPOSABBAN TANULMÁNYOZOTT VADÁLLATFAJAI KÖZÉ TARTOZNAK John és Elizabeth Gould illusztrációja a *Geospiza fortis*ról, a közepes földipintyről. John Gould 38. táblája a *The Zoology of the Voyage of H.M.S.* Beagle, *Part 3 Birds* (Őfelsége *Beagle* nevű hajója útjának zoológiája 3. kötet, madarak) kötetből (sorozatszerkesztő: Charles Darwin), megjelent 5 részben, 1838–1841 között.

Granték, munkatársaik és diákjaik több mint negyed évszázada térnek vissza évente a Galápagos-szigetekre, hogy pintyeket fogjanak, egyedenként megjelöljék őket, megmérjék csőrüket és szárnyukat, valamint újabban, hogy az apaság és egyéb rokoni viszonyok megállapítása végett DNS-vizsgálatokhoz vért vegyenek tőlük. Talán még egyetlen másik vadállat-populáció egyedeit és génjeit sem vizsgálták meg ennél átfogóbban. Granték percnyi pontossággal tudják, pontosan mi történik a bukdácsoló dugókkal, azaz a pintypopulációkkal, amint az évente változó szelekciós nyomás ide-oda lökdösi őket az evolúció tengerén.

1977-ben súlyos aszály sújtott le, így az élelemkészlet lecsökkent. Daphne Major kis szigetének valamennyi fajra kiterjedő pintynépessége a januári 1300-ról decemberre 300 alá zuhant. A domináns fajnak, a *Geospiza fortis*nak (közepes földipinty) a népessége 1200-ról 180-ra csökkent. A földi kaktuszpinty, a *G. scandens* 280-ról 110-re fogyatkozott. A többi fajok adatai is megerősítik, hogy 1977 a pintyek *annus horribilis*e volt. Ám a Grant-csapat nem csupán az egyes fajokból elpusztultak és életben maradottak számát jegyezte föl. Darwinisták lévén minden fajon belül megvizsgálták a szelektív elhullási adatokat is. Vajon bizonyos egyedek másoknál nagyobb eséllyel élték túl a katasztrófát? Vajon az aszály szelektíven változtatta meg a populáció viszonylagos összetételét?

Igen. A *G. fortis* populációban a túlélők átlagosan 5 százalékkal nagyobbak voltak az elhaltaknál. Az átlagos csőrhosszúság pedig az aszály után 11,07 mm volt, szemben a korábbi 10,68 mm-rel. A csőr átlagos mélysége hasonlóan megnőtt, 9,42 mm-ről 9,96 mm-re. Ezek az eltérések parányinak tűnhetnek, de a statisztika

* Stephen Gould taglalja a kérdést a „Darwin a tengeren – és a kikötők dicsérete" című írásában, amely a *The Flamingo's Smile* (A flamingó mosolya) című esszékötetében olvasható.

** Lásd 1947-es könyvét, a *Darwin's Finches* (Darwin pintyei). A Grantok munkásságára épült egy 1994-ben megjelent másik kitűnő munka, a *The Beak of the Finch* (A pinty csőre), Jonathan Weiner tollából. Peter Grant 1986-os klasszikus monográfiáját, az *Eclogy and Evolution of Darwin's Finches*t (Darwin pintyőkeinek ökológiája és evolúciója) 1999-ben újra kiadták.

tudományának szigorú hagyományai alapján túl következetesek voltak ahhoz, hogy a véletlen számlájára írhassuk őket. De vajon miért kedvez egy aszályos év az ilyen változásoknak? A csapat már korábban gyűjtött olyan bizonyítékokat, miszerint a nagyobb csőrű, testesebb madarak az átlagosabbaknál sikeresebben birkóznak meg a nagy, kemény, tüskés magvakkal, mint amilyen a *Tribulus* nevű gyomé, amely úgyszólván az egyetlen fellelhető mag volt az aszály legrosszabb időszakaiban. Egy másik faj, a nagy földipinty, a *G. magnirostris* bizonyult szakértőnek a *Tribulus* magvakkal való bánásban. Ám a legalkalmasabb túlélésének darwini tana a faj egyedeinek viszonylagos túlélésére, és nem egyik fajnak egy másikhoz viszonyított viszonylagos túlélésére vonatkozik. Így, a közepes földipinty populációjában a legnagyobb termetű és csőrű egyedek túlélése volt a legjobb. Az átlagos *G. fortis* egyedek kissé hasonlatosabbakká váltak a *G. magnirostris* egyedekhez. A Grant-csoport egyetlen év alatt működés közben vehette szemügyre a természetes kiválasztódás egy apró darabkáját.

Az aszály elmúltával egy másik epizódnak is tanúi lehettek, amely a pintynépességet ugyanabba az irányba tolta, de eltérő oknál fogva. Mint oly sok madárfaj esetében, a *G. fortis* hímek is nagyobbak a tojóknál, s a csőrük is nagyobb, ami feltehetően hozzájárult ahhoz, hogy sikeresebben túlélték az aszályt. Az aszály előtt körülbelül 600 hím és 600 tojó élt. A 180 életben maradt madár közül 150 hím volt. Amikor 1978 januárjában végre visszatértek az esők, virágzó időszakot szabadítottak fel, amely kedvezett a szaporodásnak. Ám most öt hím jutott egy tojóra. Érthető módon heves versengés tört ki a hímek közt a ritka tojókért. Márpedig e szexuális vetélkedésben győztes hímek, a már a normálisnál amúgy is nagyobb túlélők közti új győztesek, általában megint csak a legnagyobb csőrű, nagy testű hímek voltak. Ismétlem, a természetes kiválasztódás a populációt a nagyobb test és nagyobb csőr kifejlesztése felé irányította, de eltérő oknál fogva. Arról pedig, hogy a nőstények miért kedvelik a nagy testű hímeket, *A fóka meséje* már eligazított bennünket, így jelentőségteljesnek látjuk azt a tényt, hogy a *Geospiza* hím – a versengőbb nem – mindenképp nagyobb a tojónál.

Ha a nagy méret ekkora előny, akkor miért nem voltak eleve nagyobbak a madarak? Azért, mert más években, a nem aszályos években a természetes kiválasztódás a kisebb csőrű, kisebb termetű madaraknak kedvez. Granték ennek is tanúi voltak az ezt követő 1982–83-as években, amikor történetesen egy El Niño árhullám érkezett. Az árhullám után a magvak egyensúlya megváltozott. A *Tribulus*hoz hasonló keménymagvú növények megritkultak az olyan kisebb és puhább magvú növényekhez képest, mint a *Cacabus*. Most a kisebb csőrű és kisebb termetű pintyek ideje jött el. Nem mintha a nagyobb testű madarak nem tudnák megenni a kis, puha magvakat, viszont nagyobb testük fenntartásához többre is volt szükség belőlük. Így jutottak némi előnyöz a kis testű madarak, és a közepes földipinty népességen belül megfordult a kocka. Az aszályos évek evolúciós irányzata az ellenkezőjére fordult.

Ugye, a sikeres és sikertelen madarak csőrmérete közti különbség borzasztóan kicsinek tűnik? Jonathan Weiner idéz Peter Granttól egy erről szóló beszédes történetet:

> Egyszer éppen belefogtam volna az előadásomba, amikor a közönség soraiból egy biológus közbeszólt: – Mit mond, mekkora különbséget látott a túlélő pintyek és az elpusztultak csőre között? – szegezte nekem a kérdést.

– Átlagban fél milliméter – feleltem.
– Nem hiszem! – mondta a férfi. – Nem hiszem, hogy fél milliméter valóban ennyit számít.
– Pedig ez a helyzet – mondtam. – Nézze meg alaposan az adataimat, és azután kérdezzen – de az újabb kérdés elmaradt.

Peter Grant úgy számolt, hogy csupán 23 fordulónyi 1977-es méretű aszály kellene Daphne Majoron ahhoz, hogy a *Geospiza fortis* G. *magnirostris*sá alakuljon át. Természetesen nem szó szerinti *magnirostris* lenne. Ám ily módon eleven képet alkothatunk a fajok keletkezéséről és arról, milyen gyorsan lejátszódhat. Amikor találkozott velük, és elmulasztotta kellően méltányolni őket, Darwin nem is sejtette, milyen erős szövetségesnek bizonyulnak végül az „ő" pintyei.*

* Hawaii még távolabbi vulkanikus szigetcsoport, és körülbelül annyi idős, mint a Galápagos-szigetek. Hawaii „Robinson Crusoe madara" egy kúszó mézmadár volt, amelynek leszármazottai „Galápagost játszva" gyorsan továbbfejlődtek, s még egy „fakopács" is kialakult belőlük. Ugyanígy a mintegy 400 eredeti rovarbevándorló fajtól ered a 10 000 őshonos hawaii rovarfaj, köztük egy sajátos húsevő hernyóval és egy félig tengeri tücsökkel. A denevértől és a fókától eltekintve nincs őshonos hawaii emlős. Sajnos – hogy E. O. Wilson gyönyörű könyvét, a *The Diversity of Life*-ot (A változatos élet) idézzük – „Mára a mézmadarak többsége eltűnt. Visszavonultak, és elenyésztek a túlvadászat, az erdőirtás, a patkányok, a húsevő hangyák, és a hawaii táj »gazdagítására« behozott egzotikus madarak által terjesztett malária és vizkór nyomása alatt."

A PÁVA MESÉJE

A páva „farka" nem valódi morfológiai farok (egy madár igazi farka az apró „püspökfalat"), hanem hosszú háttollakból álló „legyező". A páva meséje példaadó e könyv számára, mert valódi chauceri stílusban az egyik zarándok üzenetét vagy tanulságát hordozza úgy, hogy az segíti a többi zarándokot az önmegismerésben. Különösen akkor vártam már nagyon, mikor csatlakozik végre a páva (mégpedig a kakas) zarándoklatunkhoz, hogy megossza velünk meséjének jótéteményeit, amikor az emberi evolúció két nagy átmenetét taglaltam. Ez a mese persze a szexuális kiválasztódásról szól. Az említett két nagy hominidaátalakulás a négy lábról két lábra váltás és agyunk ezt követő megnövekedése volt. Hadd adjunk ezekhez egy harmadik, talán kevésbé jelentős, de szerfölött jellegzetes emberi vonást: a testszőrzet elvesztését. Miért lett belőlünk Csupasz Majom?

A késő miocénben rengeteg emberszabású élt Afrikában. Vajon miért kezdett el egyikük gyorsan és hirtelen a többitől – sőt valójában az összes többi emlőstől – tel-



Az evolúciós képzelet szertelen szárnyalása

jesen eltérő irányba fejlődni? Mi szemelte ki ezt az egy fajt, és küldte sebesen robogva új és különös evolúciós irányokba: először, hogy két lábra álljon, aztán legyen agyas, majd egy bizonyos ponton veszítse el java testszőrzetét?

Az evolúció csalafinta irányba vett gyors, szemmel láthatóan önkényes megugrásai egy dologról szólnak: a szexuális kiválasztódásról. Hát ezen a ponton kell hegyeznünk a fülünket a páva meséjére. Vajon miért van a pávának olyan farka, amely mellett eltörpül a teste, s amelynek dicső, királyi bíbor és zöld szemmotívumaival ékesített tollai reszketve csillognak a napban? Azért, mert pávatyúkok nemzedékei olyan pávakakasokat választottak, amelyek e hóbortos reklámhordozó ősi változatával kérkedtek. Miért van a tizenkét húros paradicsommadárnak piros szeme és színjátszó zöld szegélyű fekete nyaktollazata, míg a lantfarkú paradicsommadár miért skarlátvörös hátával, sárga nyakával és kék fejével vonja magára a figyelmet? Nem azért, mert étrendjükben vagy élőhelyükön valami e két fajt különböző színösszeállításra tenné eleve hajlamossá. Nem, ezek a különbségek, és azok is, amelyek oly feltűnően megkülönböztetik a többi paradicsommadár-fajt, mind önkényesek, szeszélyesek és mindenki számára lényegtelenek – kivéve a paradicsommadár tojókat. A szexuális kiválasztódás efféle dolgokat művel. A szexuális kiválasztódás csalafinta, szeszélyes evolúciót eredményez, amely nyilvánvalóan önkényes irányokba fut, s az evolúciós képzelet szertelen szárnyalásából táplálkozik.



Csalafinta, huncut evolúció
Lantfarkú paradicsommadár *(Diphyllodes respublica)*

Másfelől a szexuális kiválasztódás hajlamos felnagyítani a nemek közti különbségeket is – ez a szexuális kétalakúság vagy dimorfizmus (lásd *A fóka meséjét*). Minden olyan elméletnek, amely az emberi agyat, a két lábon járást és a csupaszságot a szexuális kiválasztódásnak tulajdonítja, egy nagy nehézséggel kell szembesülnie. Nincs bizonyítékunk arra, hogy valamelyik nem agyasabb lenne a másiknál, sem arra, hogy inkább kétlábú lenne a másiknál. Az viszont igaz, hogy az egyik nem általában csupaszabb, mint a másik, s ezt Darwin fel is használta az emberi szőrzet elvesztésére adott, a szexuális kiválasztódásra épülő saját elméletének megfogalmazásakor. Feltételezte, hogy inkább az ősi hímek választottak nőstényeket, miként az az állatvilágban szokás, és nem fordítva, márpedig ők a szőrtelen nőstényeket kedvelték. Amikor az egyik nem fejlődése megelőzi a másikét (esetünkben a női nemé, a szőrtelenség irányába), akkor a másikról elmondhatjuk, hogy „az első nyomában kullog". Többékevésbé ezt a fajta magyarázatot kell felhoznunk a jó öreg gesztenyebarna hím mellbimbókra. Nem elképzelhetetlen, hogy ezt hozhatjuk föl a férfiak részleges szőrtelenségének evolúciójával kapcsolatban, akik úgy kullogtak a teljesebben csupasz nők nyomában. A „nyomában kullog" elmélet kevésbé működik a kétlábúság és az agyasság esetében. Az elme visszaretten – hátra is hőköl –, amikor megpróbálja elképzelni, amint az egyik nem kétlábú képviselője sétára indul a másik nem négylábú tagjával. Mindenesetre a „nyomában kullog" elméletnek van helye a nap alatt.

Vannak olyan helyzetek, amelyekben a szexuális kiválasztódás az egyalakúságnak, a monomorfizmusnak kedvez. Az a gyanúm – és Geoffrey Milleré is a *The*

Mating Mind (A párzó elme) című könyvében –, hogy az ember párválasztása, talán ellentétben a pávatyúkokéval, mindkét irányban működik. Sőt szempontjaink különbözők lehetnek, amikor hosszú távra keresünk társat, és amikor csak egyéjszakás kalandot keresünk.

Egyelőre visszatérünk a pávakakasok és pávatyúkok egyszerűbb világához, ahol a nők választanak, míg a hímek illegetik magukat, remélve, hogy kiválasztják őket. Az elképzelés egyik változata feltételezi, hogy a párválasztás (esetünkben a pávatyúkoké), mondjuk a táplálék vagy az élőhely kiválasztásához képest önkényes és szeszélyes. Ám okkal kérdezhetnénk, hogy miért lenne az? A szexuális kiválasztódás legalább egy nagy hatású elmélete – mégpedig a nagy genetikai statisztikus, R. A. Fisher elmélete – szerint nagyon is alapos okunk van ezt kérdezni. Egy másik könyvemben (*The Blind Watchmaker*, magyarul: A vak órásmester, 8. fejezet) részletesen kifejtettem az elméletet, úgyhogy itt nem bocsátkozom ismétlésbe. Az a lényeg, hogy a hím megjelenése egyfajta robbanó láncreakcióban együtt fejlődik a női ízléssel. Az egy fajon belüli női ízlés közmegegyezésének újításai és a hímek megjelenésének ennek megfelelő változásai gáttalanul elszabadult folyamatban erősödnek föl, amely mindkettőjüket egyre inkább egy irányba hajtja, sűrű tömött sorokban. Nincs különösebb oka annak, miért ezt az irányt választják: mindössze ez az az irány, amelybe az evolúciós folyamat elindult. A pávatyúkok ősei történetesen tettek egy lépést afelé, hogy a nagy legyezőt kedveljék. Ez elegendő volt a szexuális kiválasztódás robbanómotorjának beindításához. Bedőlt az ajtó, és a pávakakasok evolúciós mércével mérve igen rövid idő alatt egyre nagyobb és sziporkázóbb legyezőket fejlesztettek, a tyúkok pedig nem tudtak betelni velük.

Minden paradicsommadár-faj, sok más madár, hal, és béka, bogár és gyík elzúgott a maga evolúciós irányába, a sok rikító szín és bizarr alakzat felé – mégis mind más és más rikító szín és bizarr alakzat felé. Most számunkra igazán az a fontos, hogy a szexuális kiválasztódás egy szilárd matematikai elmélet bizonysága szerint képes arra, hogy az evolúciót önkényes irányokba terelje, és a dolgokat nem haszonelvű szélsőségek felé tolja. Az emberi evolúcióról szóló fejezetekben felvetődött, hogy az agy hirtelen megnagyobbodása éppen ilyen jelenség, csakúgy, mint a testszőrzet hirtelen elvesztése, sőt a két lábra állás hirtelen megjelenése is.

Darwin a *The Descent of Man* (Az ember származása) című művét nagyrészt a szexuális kiválasztódásnak szentelte. Az állatok szexuális kiválasztódásának hosszadalmas elemzése előkészíti állásfoglalását a szexuális szelekciónak mint fajunk legutóbbi evolúciójának meghatározó ereje mellett. Az emberi csupaszsággal foglalkozó fejtegetése azzal kezdődik, hogy elutasítja – mégpedig jóval nyíltabban, hogy azt mai követői ne találnák kínosnak – azt a lehetőséget, hogy szőrzetünket haszonelvű szempontok miatt veszítettük el. A szexuális kiválasztódásban való hitét megerősíti az a megfigyelés, hogy valamennyi emberfajtánál, akár szőrös, akár nem, a nők általában kevésbé szőrösek, mint a férfiak. Férfiak nemzedékei választották párnak a legcsupaszabb nőket.* A férfiak csupaszsága ugyan a nők meztelenségének evolúciós nyomában vánszorgott, de igazából sohasem érte utol őket, ezért maradtak a férfiak szőrösebbek a nőknél.

Darwin számára a szexuális kiválasztódást mozgató fő szempontok garantáltan adottak voltak. A férfiak egyszerűen jobban kedvelik a csupasz nőket, és kész. Alfred Russel Wallace, a természetes kiválasztódás társfelfedezője nem szívelhette a

* Kollégámhoz, Desmond Morrishoz hasonlóan természetesen én is szőrtelen, s nem ruhátlan értelemben használom a *csupasz* szót.

darwini szexuális kiválasztódás önkényességét. Azt akarta, hogy a nők ne szeszélyből, hanem érdem alapján válasszanak hímet. Azt akarta, hogy a pávakakas és a paradicsommadár ragyogó tollai a mögöttük rejlő rátermettség jegyei legyenek. Darwin szerint a pávatyúkok egyszerűen azért választják ki a pávakakasokat, mert szépek a szemükben. Fisher későbbi matematikája a darwini elméletet szilárdabb matematikai alapokra helyezte. A wallace-iánusok* szerint a pávatyúkok nem szépségük miatt választják a pávakakasokat, hanem mert fényes tollaik a mögöttük rejlő egészség és rátermettség jelei.

* Helena Cronin kifejezése gyönyörű könyvéből, a *The Ant and the Peacock*ból (A hangya és a páva).

Wallace utáni nyelven szólva egy wallace-iánus nő valójában a hím génjeit olvassa le annak külső megnyilatkozásain, és ezekből ítéli meg a minőségét. Némely neowallace-iánus arra a meghökkentő következtetésre jut, hogy a hímeknek mindent meg kell tenniük annak érdekében, hogy a nők könnyedén le tudják olvasni minőségüket, még ha gyenge is az. Ez az elmélet – vagy inkább elméletfüzér –, amit A. Zahavinak, W. D. Hamiltonnak és A. Grafennek köszönhetünk, bármilyen érdekes is, túl messzire vezetne bennünket a tárgytól. Ami tőlem tellett ez ügyben, azt *Az önző gén* második kiadásában, a végjegyzetben fejtettem ki.

Mindez az emberi evolúcióról feltett három kérdésünk közül az elsőhöz vezet el bennünket. Miért veszítettük el a szőrzetünket? Mark Pagel és Walter Bodmer azzal a furfangos felvetéssel álltak elő, hogy a szőrtelenség az olyan élősködőktől való megszabadulás miatt fejlődött ki, mint a tetű, és e mese témájával összhangban, szexuálisan kiválasztott hirdetésként hirdeti a parazitamentességet. Pagel és Bodmer Darwin szexuális kiválasztódását hívták segítségül, de annak W. D. Hamilton-féle neowallace-iánus változatában.

Darwin meg sem kísérelte, hogy megmagyarázza a nők szempontjait, hanem megelégedett annak tételezésével, hogy ezek magyarázzák a hímek kinézetét. A wallace-iánusok magukra a szempontokra kerestek evolúciós magyarázatot. Hamilton kedvelt magyarázata teljes egészében az egészség hirdetéséről szól. Amikor az egyedek párt választanak, az egészséget és a parazitamentességet keresik, vagy legalábbis azokat a jeleket, amelyek szerint párjuk jó lesz az élősködők távol tartásában vagy az ellenük való küzdelemben. Azok az egyedek pedig, amelyek arra várnak, hogy kiválasszák őket, az egészségi állapotukat hirdetik, megkönnyítve a választóknak, hogy olvassanak jeleikből, akár jók, akár rosszak is azok. A pulykák vagy a majmok csupasz bőrfelületei olyan szembetűnő képernyők, amelyekre gazdáik egészsége vetül ki. A bőrön keresztül ténylegesen látható a vér színe.

Az embereknek nem csupán a faruk csupasz, mint a majmoknak, hanem a fejtető, a hónalj és a szeméremtájak kivételével az egész testük. Amikor élősködőkre teszünk szert, mondjuk tetvekre, azok gyakran éppen ezekre a testtájékokra korlátozódnak. A lapostetű, a *Phthirus pubis* főként a szeméremtájakon található, de megfertőzi a hónaljat, a szakállt, sőt a szemöldököt is. A fejtetű, a *Pediculus humanus capitus* csak a fejszőrzetet támadja meg. A ruhatetű, a *P. h. humanus*, ugyanabba az alfajba tartozik, mint a fejtetű, és érdekes módon vélhetően azután alakult ki belőle, hogy rátértünk a ruhaviseletre. Németországban néhány kutató azzal a szándékkal vizsgálta meg a fejtetű és a ruhatetű DNS-ét, hogy megállapítsa, mikor találtuk fel a ruhákat. 72 000 évet kaptak, plusz-mínusz 42 000 évvel.

A tetűnek szőrre van szüksége, így Pagel és Bodmer első felvetése szerint szőrzetünk elvesztése azzal az előnnyel járt, hogy csökkent a tetűk rendelkezésére álló

lakóterület. Két kérdés vetődik föl. Ha egyszer a szőrzet elvesztése ilyen jó ötlet, akkor az élősködőktől szenvedő többi emlős miért tartotta meg? Azok, mint például az elefánt és az orrszarvú, amelyek megtehették ezt, mert elég nagyok ahhoz, hogy a szőrzet nélkül is megőrizzék a testhőt, meg is szabadultak tőle. Pagel és Bodmer felvetése szerint a tűz és a ruha feltalálása tette lehetővé, hogy meglegyünk a szőrzetünk nélkül. Ez viszont azonnal elvezet a második kérdéshez. Miért tartottuk meg a szőrzetet a fejünkön, a hónaljunkban és a szeméremtájékon? Ennek valami elsöprő előnyének kellett lennie. Az teljességgel elfogadható, hogy a fejtetőn viselt haj megóv a napszúrástól, amely nagyon veszélyes lehet Afrikában, ahol kialakultunk. Ami a hónaljat és a szeméremtájat illeti, a szőrzet talán azoknak a hathatós feromonoknak a (levegőben terjedő szagjelek) terjesztésében segített, amelyeket őseink minden bizonnyal felhasználtak szexuális életükben, de amelyeket még ma is jobban használunk, mint sokan gondolnák.

Így a Pagel–Bodmer-elmélet lényeges része az, hogy a tetvekhez hasonló élősködők veszélyesek (a tetvek tífuszt és egyéb súlyos betegségeket terjesztenek), és jobban kedvelik a szőrzetet a csupasz bőrnél. A szőrtől való megszabadulással alaposan megnehezítjük ezeknek a kellemetlen és veszélyes parazitáknak az életét. Jóval könnyebben észre is vesszük és megfogjuk az olyan élősködőket, mint a bolha, ha nincs szőrzetünk. A főemlősök idejük java részét arra áldozzák, hogy magukon vagy egymáson bolhát keresgélnek, úgyhogy valójában fontos társasági tevékenységgé, s ennek hozadékaként a kötődések kialakításának eszközévé vált.

Én azonban a Pagel–Bodmer-elmélet legérdekesebb pontjának azt találom, amit ők meglehetősen szőrmentén érintenek tanulmányukban, s ez természetesen a szexuális kiválasztódás, hiszen ezért is szerepel a páva meséjében. A meztelenség nem csupán a tetvek és bolhák számára jelent rossz hírt, hanem jó hír azoknak a keresőknek, akik megpróbálják megállapítani, hogy egy jövendőbeli szexuális partnerük tetves vagy bolhás-e. A Hamilton–Zahavi–Grafen-elmélet előrevetíti, hogy a szexuális kiválasztódás azt hangsúlyozza, ami segít a keresőknek megállapítani, hogy partnerjelöltjüknek vannak-e élősködői – kerül, amibe kerül. A szőrtelenség kiváló példa erre. Pagel és Bodmer tanulmánya végére jutva T. H. Huxley híres szavai idéződtek föl bennem: mekkora hülyeség, hogy ez nem jutott eszembe.

Ám a csupaszság a dolog könnyebbik vége. Ígéretem szerint forduljunk most a két lábon járás és az agy felé. Vajon a pávakakas segíthet az emberi evolúció e két hatalmasabb eseményének – lábra állásunknak és agyunk megnövekedésének megértésében? A két lábon járás jött előbb, így ezzel kezdem. *Kisláb meséjé*ben megemlékeztem a két lábon járás különböző elméleteiről, köztük Jonathan Kingdon legújabb, számomra nagyon meggyőző elméletéről a kuporgó élelemkereséssel kapcsolatban. Említettem, hogy saját felvetésemet a páva meséjére tartogatom.

A két lábon járás evolúciójáról szőtt elméletem első eleme a szexuális kiválasztódás és ennek ereje, hogy az evolúciót nem hasznossági szempontú, önkényes irányokba terelje. A második elem az utánzásra való hajlam. Nyelvünkben akad egy szó az utánzásra, a *majomkodás*, noha nem tudom, mennyire találó ez a kifejezés, hiszen minden emberszabású közül az ember az utánzás bajnoka, igaz: a csimpánzok is űzik, és nincs okunk úgy gondolni, hogy az *Australopithecus*ok ne űzték volna. A harmadik elem az emberszabásúak közt elterjedt azon szokás, hogy ideiglenesen, így például a szexuális és az agresszív magamutogatás idején a hátsó végtagjaikra

állnak. Egy fogságban élő csimpánz, nevezett Oliver szokásszerűen és előszeretettel jár a hátsó lábain. Láttam egy filmen járás közben: tartása megdöbbentően egyenes – semmi cammogó totyogás, hanem úgyszólván katonás peckesség. Oliver járása olyannyira nem csimpánzszerű, hogy bizarr eszmefuttatások tárgyává vált. Amíg a DNS-vizsgálat ki nem mutatta, hogy csimpánz, egy *Pan troglodytes*, addig sokan azt gondolták, esetleg egy csimpánz-ember keverékről, egy csimpánz-bonobó keverékről, mi több, egy megmaradt *Australopithecus*-féléről van szó. Sajnos Oliver életrajza nehezen összerakható, így senki sem tudja, hogy úgy tanították-e meg járni valami cirkuszi vagy búcsúi mutatvány számára, vagy valami páratlan egyedi sajátosságról van-e szó. Akár genetikai mutáns is lehet. Olivertől eltekintve az orangutánok a csimpánzoknál jobbak a lábaikon; a vadon élő gibbonok pedig ténylegesen két lábon futnak át a tisztásokon olyan stílusban, amely nem nagyon különbözik az ágakon futás közben alkalmazottól, már amikor nem az ágak alatt haladnak függeszkedve.

Mindezen elemeket összerakva az alábbi felvetéssel élek az emberi kétlábúság eredetét illetően. Őseink a többi emberszabásúhoz hasonlóan, ha nem a fán tartózkodtak, négy lábon jártak, ám időnként a hátsó lábaikra emelkedtek, esetleg ha esőtáncot jártak, vagy hogy gyümölcsöt szedjenek az alsó ágakról, vagy hogy élelemkeresés közben az egyik kuporgó pozícióból egy másikba mozduljanak, netán hogy átgázoljanak a vízen, esetleg hogy megmutassák a péniszüket, vagy bármely egyéb okból, miként azt a mai emberszabásúak és majmok is teszik. Aztán – és ez felvetésem lényege – valami szokatlan történt az egyik ilyen emberszabású fajjal, azzal, amelytől származunk. *Divatja* támadt a két lábon járásnak, mégpedig olyan hirtelen és szeszélyesen, ahogy már a divatok támadni szoktak. Sallangról volt szó. Ennek párhuzamát lelhetnénk abban a legendában (sajnos talán hamis), miszerint a spanyol selypítés egy csodált udvaronc, vagy a legenda egy másik változatában az egyik Habsburg uralkodó vagy infáns beszédhibájának divatos utánzásából ered.

Talán az lesz a legjobb, ha a történetet olyan szexuális beütéssel mesélem el, amelyben a nők választják a hímeket, bár ne feledjük, megfordítva is történhetett. Látomásomban egy bálványozott vagy domináns emberszabású, talán egy pliocén Oliver két lábon járásának – amely az esőtánc egyfajta ősi változatának felelhetett meg – rendkívüli virtuozitásával emelte szexuális vonzerejét és csoportban betöltött státusát. A többiek utánozták sallangszerű szokását, s így lett ez a „menő", a „nagy durranás" a környéken, ahhoz hasonlóan, ahogy a csimpánzok helyi csapatainak diótörési vagy termeszpecázási szokása is a divat utánzásával terjed. Serdülőkoromban egy több mint bugyuta, ám népszerű dalnak ez volt a refrénje:

Mindenki a járás
Új módjáról dumál!

És bár talán csak a laza rím kedvéért választották éppen ezeket a sorokat, kétségtelen, hogy a járásmódnak van valami ragályos jellege, és csak azért utánozzák, mert csodálják. Abban a bentlakásos iskolában, ahová jártam, a közép-angliai Oundle-ban, volt egy rítus, amikor is a felsőéves fiúk azt követően masíroztak be a kápolnába, hogy mi, többiek már elfoglaltuk a helyünket. Egymást utánzó járásmódjuk, amely a tetszelgés és az esetlen dülöngélés egyfajta keveréke volt (amit most, az állati viselkedés tanulmányozójaként és Desmond Morris kollégájaként a dominancia kife-

jezésének tartok), annyira jellegzetes és egyedi volt, hogy apám, amikor egyszer egy szülői látogatási nap során szemtanúja volt, az „oundle-i dülöngélés" névvel illette. A szociálisan érzékeny író, Tom Wolfe az amerikai jampecek sajátos, lompos járását, amely egy bizonyos társadalmi csoportban népszerűvé vált, strici imbolygásnak nevezte. E könyv írása idején a brit miniszterelnök az amerikai elnöknek való szánalmas talpnyalásával a „Bush pudlija" címet érdemelte ki magának. Több hírmagyarázó is megjegyezte, hogy különösen akkor utánozza Bush macsó „cowboy kiállását", amint karjait úgy tartja maga mellett, mintha éppen a pisztolyokat készülne megragadni, amikor együtt vannak.

Az emberőseink közt lejátszódó elképzelt eseménysorunkra visszatérve, a divat hatáskörébe eső vidék női azokkal a hímekkel párosodtak inkább, akik felvették az új járásmódot. Ugyanazon okból részesítették őket előnyben, amiért bárki követi a divatot: vagyis mert társadalmi csoportja csodálja. Az érvelés következő pontja a döntő. Azoknak volt a legnagyobb esélyük a pár magához édesgetésére és így gyermekek nemzésére, akiknek különösen jól ment az új, divatos járásmód. Ám mindennek csak akkor lenne evolúciós vonzata, ha genetikai összetevője lenne a járni tudás változatainak. Márpedig ez teljességgel elképzelhető. Emlékezzünk csak, hogy egy meglévő tevékenységre fordított időmennyiségben bekövetkezett mennyiségi elmozdulásról beszélünk. Szokatlan dolog lenne, ha egy meglévő változatban végbemenő mennyiségi változás *nem* járna genetikai vonzattal.

Az érvelés következő lépése a szabvány szexuális kiválasztódás elméletét követi. Általában azoknak a párválasztóknak lesznek gyermekeik – hogy anyjuk párválasztása alapján örököljék a két lábon járás divatjának megfelelő ügyességet –, akiknek ízlése megegyezik a többség ízlésével. Ezeknek lányaik is lesznek, hogy örököljék anyjuk hímekre vonatkozó ízlését. Fisher elmélete szerint ez a kettős szelekció – a hímeknél valamely minőség birtoklása, a nőknél ugyanazon minőség csodálata – alkotják a robbanásszerű, fékevesztett szelekció összetevőit. A kulcsmozzanat az, hogy a fékevesztett evolúció pontos iránya esetleges és megjósolhatatlan. Akár az ellenkezője is lehetett volna. Valóban meglehet, hogy egy másik helyi populációban éppen az ellenkezője következett be. Egy esetleges és megjósolhatatlan irányba tartó, robbanásszerű evolúciós kitérő – éppen ez az, amire szükségünk van, ha meg kívánjuk magyarázni, hogy az emberszabásúak egyik csoportja (akik őseink lettek), miért fejlődtek hirtelen a két lábon járás irányába, míg az emberszabásúak egy másik csoportja (a csimpánzok ősei) nem. További előnye ennek az elméletnek, hogy ez az evolúciós kiugrás kivételesen gyors lehetett: éppen erre van szükségünk ahhoz, hogy megmagyarázzuk az első köz-ős, valamint a feltételezetten két lábon járó Toumai és az *Orrorin* zavarba ejtő közelségét.

Forduljunk most az emberi evolúció másik nagy előrelépéséhez, az agy megnagyobbodásához. *Az ezermester meséje* érintette a különböző elméleteket, s itt is a szexuális kiválasztódást hagytuk utoljára, a páva meséjére halasztva. *A párzó elme* című könyvében Geoffrey Miller kifejti, hogy az emberi génekben igen nagy százaléka, talán 50 százaléka is fejeződik ki az agyban. A világosság kedvéért megismétlem, hogy bár kényelmes csupán egy szempontból elmesélni egy történetet – úgy, hogy a nők választanak hímeket –, de éppenséggel fordítva is történhetett, vagy egyidejűleg mindkét irányban. Az a nő, aki mélyrehatóan és alaposan szeretné leolvasni egy hím génjeit, jól teszi, ha az agyára összpontosít. Mivel a szó szoros értelmében

az agyba nem nézhet bele, hát a műveit veszi figyelembe. És tekintettel arra az elméletre, hogy a hímeknek minőségük hirdetésével meg kell ezt könnyíteni, hát nem rejtik belső fényüket egy csontvéka alá, hanem szabadjára engedik. Táncolnak, énekelnek, nyájasan beszélnek, tréfálkoznak, zenét szereznek vagy verset írnak, műveiket eljátsszák vagy elszavalják, kifestik a barlangok falát vagy a Sixtus-kápolna mennyezetét. Persze, persze. Tudom, Michelangelót történetesen aligha az érdekelte, hogy nőket kápráztasson el. Mégis teljesen valószínű, hogy agyát a természetes kiválasztódás arra „tervezte" – bármi volt is az ő személyes ízlése –, hogy nőket nyűgözzön le, mint ahogy a péniszét arra, hogy beléjük hatoljon. Az emberi elme e nézet szerint tehát egyfajta mentális pávakakasfarok. Az agy pedig ugyanazon szexuális kiválasztódás hatása alatt duzzadt meg, mint amelyik a pávakakas farkát is megnövelte. Maga Miller a szexuális kiválasztódásnak inkább a wallace-iánus, mint a fisheriánus változatát kedveli, ám lényegében ugyanarra a következtetésre jut. Az agy nagyobbodik, mégpedig gyorsan és robbanásszerűen.

A pszichológus Susan Blackmore a *The Meme Machine* (A mémgépezet) című kihívó könyvében az emberi elme még radikálisabb szexuális kiválasztódási elméletét adja elő. A mémek nem gének, és az analógián kívül semmi közük a DNS-hez. Míg a géneket megtermékenyített peték (vagy vírusok) viszik át, addig a mémeket az utánzás. Ha megtanítom valakinek, hogyan kell kínai dzsunkát készíteni, akkor agyamból egy mém átkerül az övébe. Aztán ő két másik embert taníthat meg ugyanarra a jártasságra, akik mindketten újabb kettőt és így tovább. A mém hatványozottan terjed, akár a vírus. Feltételezve, hogy a tanítást jól végeztük, a mémek későbbi „generációi" nem különböznek észrevehetően a korábbiaktól. Valamennyi ugyanazt az origami „fenotípust"* eredményezi. Némely dzsunka talán tökéletesebb a többinél, mint ahogy mondjuk némely papírhajtogatás is több gondosságot igényel. Ám a minőség a „generációk" alatt nem romlik le lassan, fokozatosan. A mém továbbadódik, egészében és megbontatlanul, mint a gén, még akkor is, ha részletes fenotipikus megjelenése változik. A mémnek ez a konkrét példája a gén, különösen a vírusban lévő gén jó analógiája. Egy bizonyos beszédmód vagy a jártasság az ácsszakmában esetleg kétesebb eséllyel pályázhatna a mém címre, mivel – úgy sejtem – egy utánzási láncolat egyre későbbi „generációi" talán egyre inkább eltérhetnek az eredeti nemzedéktől.

Blackmore – akárcsak a filozófus Daniel Dennett – úgy hiszi, hogy a mémek döntő szerepet játszottak az emberré válás folyamatában. Dennett így ír erről:

> Az a rév, amelynek elérésétől minden mém függ, az emberi elme, ám az emberi elme maga is olyan termék, amely aközben jön létre, hogy a mémek átrendezik az emberi agyat azért, hogy jobb szállásadója legyen a mémeknek. A belépés és kilépés sugárútjai úgy módosulnak, hogy alkalmazkodjanak a helyi feltételekhez, s ezeket a szaporodás hűségét és terjengősségét fokozó különféle mesterséges megoldások erősítik meg: egy bennszülött kínai elméje jelentősen eltér egy bennszülött franciáétól, és a tanult elmék jelentősen eltérnek a tanulatlanoktól.**

Mintha Dennett úgy látná, hogy az anatómiailag modern agynak a Nagy Ugrás előtti és utáni formája közt az a fő különbség, hogy az utóbbi mémektől nyüzsög. Blackmore továbbmegy. A mémeket hívja segítségül a hatalmas emberi agy evolúciójának magyarázatához. Természetesen nem lehettek csak a mémek, hiszen itt gyökeres anatómiai változásról van szó. A mémek megnyilvánulhatnak a körülme-

* Miként azt *A hód meséjében* láttuk, a fenotípus rendesen azt a külső megjelenést jelenti, ahogyan a gének megnyilatkoznak, például a szemszínben. Természetesen itt átvitt értelemben használom: egy mém látható fenotípusa egyébként az agyban van eltemetve, szemben a gén kromoszómában eltemetett fenotípusával. Annak az „önszabályozásnak" is jó példája ez, amelyet az *Általános bevezetőben* a „megújuló emlékek" kapcsán említettem.

** Dennett alkotóan él a mémek elméletével több helyen is, többek közt a *Consciousness Explained* (Magyarázom a tudatot) és a *Darwin's Dangerous Idea* (magyarul: Darwin veszélyes ideája) című műveiben.

télt péniszben (amely olykor kvázigenetikai módon apáról fiúra adódik át), sőt még a testformában is kifejeződhetnek (gondoljunk a nyak gyűrűkkel történő elvékonyításának vagy megnyújtásának áthagyományozott divatjára). Ám az agyméret megkétszereződése más lapra tartozik. Erre csak a génkészlet változásai révén kerülhetett sor. Akkor hát milyen szerepet tulajdonít Blackmore a mémeknek az emberi agy evolúciós felduzzadásában? Itt lép újra a képbe a szexuális kiválasztódás.

Az emberek a legkészségesebben másolják csodált példaképeiket. A hirdetők ebbe ölik a pénzüket: labdarúgókat, filmsztárokat és szupermodelleket fizetnek meg, hogy ajánlják termékeiket – olyan embereknek, akik nem értenek azok megítéléséhez. A vonzó, csodált, tehetséges vagy egyébként ünnepelt emberek hathatós mémdonorok. Ugyanők általában szexuálisan is vonzók, és ezért, legalábbis abban a poligám társadalomban, amelyben őseink vélhetően éltek, hathatós géndonorok is. Minden nemzedékben ugyanazok a vonzó egyének járulnak hozzá méltányos részüknél jobban a következő nemzedék gén- és mémkészletéhez. Nos, Blackmore feltételezi, hogy az embereket részben éppen mémteremtő elméjük teszi vonzóvá: a teremtő, művészi, bőbeszédű, ékesszóló elme. A gének pedig segítenek olyan agyak előállításában, amelyek jónak bizonyulnak a vonzó mémek teremtésében. Így a mémek kvázidarwinista szelekciója a mémkészletben kéz a kézben jár a géneknek a génkészletben zajló, valódi darwinista szexuális szelekciójával.

Mi tehát a mémek pontos szerepe e nézet szerint az emberi agy evolúciós felduzzadásában? Szerintem a legtöbb segítséget az nyújtja, ha a következőképpen nézzük a dolgot. Az agyakban léteznek olyan genetikai változatok, amelyek észrevétlenek maradnának az őket világra hozó mémek nélkül. Például eléggé bizonyított, hogy a zenei képesség változatai genetikai összetevővel bírnak. A Bach család tagjainak zenei tehetsége talán sokat köszönhet a géneknek. Egy zenei mémekkel teli világban a zenei képességekben rejlő genetikai különbségek átütnek, és potenciálisan a szexuális kiválasztódás rendelkezésére állnak. Egy olyan világban, amely megelőzte a zenei mémek belépését az emberi agyba, ugyan ott lehettek a zenei képességekben rejlő különbségek, de nem nyilatkoztak volna meg, legalábbis nem ugyanolyan módon. Hozzáférhetetlenek lettek volna a szexuális vagy a természetes kiválasztódás számára. A memetikus kiválasztódás önmagában nem képes megváltoztatni az agyméretet, de megnyithatja azokat a genetikai változatokat, amelyek máskülönben rejtve maradtak volna.*

* Tekinthető ez a Baldwin-hatás egyik változatának, amellyel *A víziló meséjében* találkoztunk.

A páva meséje Darwinnak a szexuális kiválasztódásról alkotott csodálatos elméletére építve vetette fel az emberi evolúció néhány kérdését. Miért vagyunk csupaszok? Miért járunk két lábon? És miért van nagy agyunk? Nem kívánok abba a helyzetbe kerülni, hogy az emberi evolúció minden függőben lévő kérdését a szexuális kiválasztódás univerzális válaszára húzzam. A két lábon járás esetében például legalább ennyire meggyőző Jonathan Kingdon „kuporogva táplálkozó" elmélete. Viszont üdvözlöm azt a jelenlegi divatot, hogy a szexuális kiválasztódást – oly hosszú mostoha bánásmód után – Darwin első felvetése után újra komoly figyelemre méltatják. Hiszen kész választ kínál arra a mellékkérdésre, amely gyakran ott lappang a főkérdés mögött: ha a két lábon járás (vagy az agyasság, vagy a csupaszság) olyan jó ötletnek bizonyult esetünkben, akkor miért nem látjuk más emberszabásúaknál is? A szexuális kiválasztódás azért válik be, mert tetszőleges irányokba való hirtelen evolúciós kitöréseket jósol. Másfelől viszont a szexuális kétalakúság hiánya

az agyasság és a kétlábúság területén különleges elbánást igényel. De most hagyjuk ennyiben a dolgot. Alaposabb átgondolást igényel.

A DODÓ MESÉJE

A szárazföldi állatoknak nyilvánvaló okból nehézséget okoz, hogy eljussanak olyan távoli óceáni szigetekre, mint a Galápagos-szigetek vagy Mauritius. Ha azonban a sokat emlegetett véletlen baleset folytán, azaz egy leszakadt mangrovetutaj révén, történetesen egy olyan szigeten találják magukat, mint Mauritius, akkor valószínűleg aranyélet nyílik meg előttük. Ez elsősorban azért van így, mert egy szigetre nehéz eljutni, így a versengés és a ragadozó élet nem oly heves, mint a maguk mögött hagyott földrészen. Miként láttuk, talán így érkeztek a majmok és a rágcsálók Dél-Amerikába.

Mikor azt mondom, hogy „nehéz" gyarmatosítani egy szigetet, sietve elébe kell vágnom a szokásos félreértésnek. Egy fuldokló egyed feltehetően elkeseredetten törekszik arra, hogy földet érjen, de soha egyetlen faj sem *próbál* meghódítani egy szigetet. Valamely faj nem olyan valami, ami bármivel is próbálkozna. A fajok egyedeinek fordulhat úgy a szerencséje, hogy egy, a fajtájuk által korábban nem lakott sziget gyarmatosítói lehetnek. Az érintett egyedek ekkor várhatóan kihasználják az űrt, minek következtében utólagos okoskodással elmondhatjuk, hogy fajuk elfoglalta a szigetet. A faj leszármazottai ezt követően esetleg megváltoztatják életmódjukat, hogy evolúciós időléptékben alkalmazkodjanak a sziget szokatlan körülményeihez.

És most értünk a dodó meséjének lényegéhez. Egy szárazföldi állatnak nehéz eljutnia egy szigetre, de sokkal könnyebb, ha vannak szárnyai – mint a galápagosi pintyeknek... vagy a dodó őseinek, bármik voltak is. A repülő állatok különleges helyzetben vannak. Nincs szükségük a közmondásos mangrovetutajra. őket szárnyaik viszik, meglehet, egy véletlen baleset folytán, egy szélfuvallat által elragadva, a távoli szigetre. Most, hogy szárnyaikon megérkeztek, rádöbbennek, hogy nincs is többé szükségük a szárnyakra. Leginkább azért, mert a szigeteken gyakran nincsenek ragadozók. Ezért van az, miként Darwin megfigyelte Galápagoson, hogy a szigetlakó állatok gyakran rendkívül szelídek. Éppen ezért oly könnyű prédái a tengerészeknek. Ennek leghíresebb példája a dodók esete, a *Raphus cucullatus*oké, amelyeket Linné, a taxonómia atyja durván *Didus ineptus*nak nevezett el. Maga a *dodó* név a portugálból származik, jelentése pedig: 'hülye'. A hülye azért meglehetősen erős. Amikor 1507-ben a portugál tengerészek megérkeztek Mauritiusra, a rengeteg dodó teljesen szelíd volt, s úgy közeledtek a tengerészekhez, ami nem állhatott távol a „bizalomtól". Miért ne lettek volna tele bizalommal, amikor őseik évezredek óta nem találkoztak ragadozókkal? Kár volt bízni! A portugál – majd később holland – tengerészek bunkókkal verték agyon szerencsétlen dodókat, hiába kiáltották ki őket „ehetetlennek". Feltehetően „sportnak" tekintették a mókát. Két évszázad sem kellett a kihaláshoz.



Örökre néma már
Az oxfordi dodó feje.

A kihalás, mint olyan gyakran, az öldöklés és az ennél közvetlenebb hatások együttes hatására következett be. Az ember behozta a kutyákat, a disznókat, a patkányokat és a vallási menekülteket. Az első három megette a dodók tojásait, az utolsó pedig cukornádat ültetett, és lerombolta a dodók élőhelyeit.

A természetvédelem igen új keletű eszme. Kétlem, hogy a kihalás, s annak jelentése a tizenhetedik században bárkinek a fejében is megfordult volna. Nem tudom megállni, hogy el ne meséljem az oxfordi dodó esetét, az utolsó Angliában kitömött dodóét. Gazdáját, a preparátort, John Tradescantot rászedték, hogy ritkaságokból és kincsekből álló hatalmas gyűjteményét hagyja örökül a (némelyek szerint) hírhedt Elias Ashmole-ra. Ezért nem Tradescantiannak nevezik az oxfordi Ashmolean Museumot, ahogy (némelyek szerint) kellene. Ashmole gondnokai később úgy döntöttek, hogy egy csőr és egy láb kivételével szemétként tűzre vetik Tradescant összes dodóját. A maradványok ma a munkahelyemen, a University Museum of Natural Historyban találhatók, ahol emlékezetesen megihlették Lewis Carrollt. No és Hilaire Bellocot:

„Hajdanában dodó járkált,
Napon, levegőn élt
Földjén ma is forró a nyár
De dodó már nem él.

Rikoltó, visító hangja
Örökre néma már,
Ám megmaradt csőre-csontja
A múzeumban vár."

A fehér dodó, a *Raphus solitarius* állítólag ugyanerre a sorsra jutott a szomszédos Réunion szigeten.* És Rodriguez, a Mascarenhas-szigetcsoport harmadik tagja hasonló okoknál fogva ugyancsak befogadott és veszített el egy távolabbi rokont, a rodrigezi remetét, a *Pezophaps solitariát*.

A dodók őseinek voltak szárnyai. Elődeik repülő galambok voltak, amelyek saját izomerejüknek, esetleg egy véletlen szélfuvallatnak köszönhetően vetődtek a Mascarenhas-szigetekre. Odakerülve már nem volt szükség a szárnyaikra, hiszen nem kellett senki elől menekülniük, így el is veszítették őket. Galápagoshoz és Hawaiihoz hasonlóan ezek a szigetek is újabb vulkáni képződmények, és egyikük sem öregebb 7 millió évesnél. A molekuláris bizonyítékok arra utalnak, hogy a dodó és a remete keletről, és nem Afrikából vagy Madagaszkárról érkezett, mint egyébként gondolnánk. Talán a remete evolúciós eltérésének zömére még Rodrigezre jövetele előtt tett szert, s annyira megőrizte szárnyának erejét, hogy eljusson ide Mauritiusról.

Miért a vesződség a szárnyak elvesztésével? Hosszú idő alatt fejlődtek ki, miért nem ragaszkodtak hát hozzá, hátha egy nap még hasznát veszik újra? Sajnos (a dodó számára) az evolúció nem így okoskodik. Az evolúció egyáltalán nem okoskodik, és főleg nem előre. Ha így lenne, akkor a dodók megtartották volna a szárnyaikat, és a portugál meg holland tengerészek vandalizmusukat nem ülő célpontokon vezették volna le.

A néhai Douglas Adamsot meghatotta a dodók szomorú esete. A *Doctor Who* (Doktor Kicsoda) egyik, az 1970-es években írt epizódjában az idős Chronotis pro-

* Elképesztően felkészült kutatósegédem, Sam Turvey azonban arról tájékoztat, hogy a fehér dodó szinte biztosan soha nem létezett: „A fehér dodók néhány tizenhetedik századi festményen bukkannak fel, és korabeli utazók utalnak nagy, fehér madarakra Réunionon, de beszámolóik homályosak és feltehetően zavarosak, ugyanakkor csontvázmaradványt sem ismerünk a szigetről. Bár a faj *Raphus solitarius* néven tudományos elnevezést is kapott, és a különc japán természetbúvár, Masuji Hachisuka azt állította, hogy két dodófaj is létezett Réunionon (amelyeket ő *Victoriornis imperialis*, illetve *Ornithaptera solitaria* néven nevezett), jóval valószínűbb, hogy a korai beszámolók vagy egy kihalt réunioni íbiszre *(Threskiornis solitarius)* vonatkoznak, amelynek csontmaradványai is ismertek, és amely feltűnően hasonlított az élő szent fehér íbiszre, vagy pedig a mauritiusi szürkésbarna dodó még fejletlen példányai voltak. Az is meglehet, hogy csupán a művészi szabadság termékei."

fesszor cambridge-i kollégiumi szobája időgépként működik, ám ő csak egyetlen célra veszi igénybe, titkos bűnének kiélésére: megszállottan és sorozatosan tér vissza a tizenhetedik századi Mauritiusra, hogy *elsirassa a dodókat*. A BBC-nél kitört sztrájk miatt a *Doktor Kicsoda* eme epizódját soha nem mutatták be, és Douglas Adams *Dirk Gently's Holistic Detective Agency* (Dirk Gently holisztikus nyomozóirodája) című regényében feleleventette a kísértő dodó motívumát. Tartsanak csak nyugodtan szentimentálisnak, de meg kell állnom egy pillanatra – Douglas és Chronotis professzor, no és amiatt, amit elsirattak.

Az evolúcióban és hajtómotorjában, a természetes kiválasztódásban nincs előrelátás. Minden faj minden generációjában a túléléshez és szaporodáshoz legjobban felszerelt egyedek méltányos részüknél nagyobb arányban járulnak hozzá a következő generáció génjeihez. A következmény, bár vak, a legközelebb áll az előrelátásnak ahhoz az értelmezéséhez, amit a természet megtűr. A szárnyak hasznosak lehetnek egymillió év múlva, amikor megérkeznek a bunkós tengerészek. Ám a szárnyak itt és most nem segítik a madarat abban, hogy utódokat és géneket adjon tovább a következő nemzedéknek. Éppen ellenkezőleg: a szárnyak és a mozgatásukhoz szükséges hatalmas mellizmok költséges luxust jelentenek. Zsugorítsuk össze őket, és a megtakarított erőforrásokat valami közvetlenebb hasznot hajtó dologra, mondjuk a tojásokra lehet fordítani: ezek épp azoknak a géneknek a túlélésében és szaporításában közvetlenül hasznosak, amelyek a zsugorítást beprogramozták.

A természetes kiválasztódás szakadatlan effajta dolgokat művel. Szüntelen bütykölés: itt kicsit bevenni, ott kiengedni, állandóan állítgatni, felvenni, levetni, az azonnali szaporodási sikert biztosítani. A jövendő századok túlélése nincs számításba véve, mégpedig azon alapos oknál fogva, hogy szó sincs számításról. Minden önmagától történik, ahogy a génállomány bizonyos génjei fennmaradnak, míg mások nem.

Az oxfordi dodó (Alice dodója, Belloc dodója) szomorú végét egy vidámabb fejlemény enyhíti. Oxfordi tudósok egy csoportja kollégám, Alan Cooper laboratóriumában engedélyt kapott rá, hogy parányi mintát vegyen a lábcsont belsejéből. Megszerezték egy remetének a Rodriguez sziget egyik barlangjában talált combcsontját is. Ezek a csontok elegendő mitokondriális DNS-t szolgáltattak ahhoz, hogy lehetővé tegyék e két kihalt és számos élő madár közti betűnkénti DNS-szekvencia összehasonlítását. Az eredmények megerősítették a régi gyanút, vagyis hogy a dodók módosult galambok voltak. Az sem meglepő, hogy a galambok családján belül a dodó legközelebbi rokona a remete, és viszont. Amire kevésbé számítottunk, az az, hogy e két kihalt röpképtelen madár alaposan a galamb családfa mélyén fészkel. Más szóval a dodók közelebbi rokonai némely repülő galambnak, mint azok a repülő galambok más repülő galamboknak, noha ránézésre azt várnánk, hogy a repülő galambok egymásnak közelebbi rokonai, és a dodók lógnak ki a sorból. A galambok közül a dodók a legközelebb a gyönyörű, délkelet-ázsiai nikobári galambhoz, a *Caloenus nicobaricá*hoz állnak közel. Ugyanakkor a nikobári galambot és a dodókat magában foglaló csoport az új-guineai, ragyogó madár, a Victoria búbosgalambnak és a *Didunculus*nak, e ritka, samoai fogascsőrű galambnak a legközelebbi rokona, amely annyira hasonlít a dodóra, hogy a neve is 'dodócskát' jelent.*

Az oxfordi tudósok megjegyzik, hogy a nikobári galamb vándor életmódja rendkívül alkalmassá teszi távoli szigetek elfoglalására, így nikobári típusú kövületeket a Csendes-óceán oly messze keleten fekvő helyeiről is ismerünk, mint a

* Nemrégiben Fidzsin találtak rá egy röpképtelen óriásgalamb, a *Natunaornis* fosszíliáira, amelynek mérete megközelítette a dodóét.

Rendkívül alkalmasak távoli szigetek elfoglalására
Nikobári galamb
(Caloenas nicobarica)



Pitcairn-szigetek. Ezek a búbos, fogascsőrű galambok – mutatnak szintén rá – nagy termetű, főként földön élő madarak, amelyek ritkán kerekednek szárnyra. Úgy tűnik, mintha ez az egész galamb alcsoport rendszeresen hódítana meg szigeteket, ahol aztán elveszítik repülési képességüket, megnőnek, és egyre dodószerűbbé válnak. Maga a dodó és a remete ezt a hajlandóságot a végletekig fokozták.

A világ szigetein valami hasonló zajlott le, mint amiről a dodó meséje szól. A madarak számos különböző családjának tagjai, melyek közt a repülő fajok vannak többségben, a szigeteken röpképtelen formákat alakítottak ki. Magán Mauritiuson is volt egy nagy, röpképtelen guvatféle, mára ugyancsak kihalt madár, az *Aphanapteryx bonasia*, amelyet alkalmanként talán összekevertek a dodóval. Rodriguezen egy rokon faj, az *A. leguati* élt. Úgy tűnik, a guvatok alkalmasak a dodó meséje szerinti sziget-ugrálásra, amit a repülési képességének elvesztése követ. Az indiai-óceáni formák mellett akad egy repülésre képtelen guvat a déli Atlanti-óceán térségének Tristan da Cunha-szigetein; és a legtöbb csendes-óceáni szigetnek megvan vagy megvolt a maga nem repülő guvatfaja. Mielőtt az ember tönkretette a Hawaii-szigetek madárvilágát, a repülésre képtelen guvatfélék több mint tizenkét faja élt itt. A világ hatvan-egynéhány élő guvatféléjének több mint egynegyede röpképtelen, és ezek mindegyike szigeteken él (ha az olyan nagy szigeteket is beszámítjuk, mint Új-Guinea vagy Új-Zéland). A Csendes-óceán trópusi szigetein talán 200 faj is kihalt az emberrel való megismerkedés óta.

Ugyancsak Mauritiuson élt egy hatalmas, ugyancsak kihalt papagáj, a *Lophopsittacus mauritianus*. Ez a tarajos papagáj gyenge repülő volt, és talán a még (éppen csak) élő, új-zélandi kakapóhoz vagy bagolypapagájhoz hasonló szerepet töltött be.* Új-Zéland számos, különböző családba tartozó röpképtelen madárnak adott otthont. Az egyik legmeghökkentőbb az úgynevezett bárdcsőrű – ez a keménykötésű, tagbaszakadt madár, a darvak és guvatok távoli rokona volt. A bárdcsőrű különböző fajai éltek az északi és a déli szigeten, ahol a denevérek kivételével semmilyen emlős nem élt (a dodó meséje mögött megbúvó nyilvánvaló ok miatt), így könnyen elképzelhető, hogy a bárdcsőr emlősszerű életmódot folytatott, így töltve ki ezt az ökológiai rést.

Mindezen esetekben az evolúciós történet csaknem biztosan valamelyik változata a dodó meséjének. Az ősi repülő madarak szárnyaikon eljutottak a távoli szigetekre, ahol az emlősök hiánya lehetőséget nyújtott számukra a földi élethez. Minthogy a szárnyak már nem hasznosultak oly módon, mint a kontinensen, ezek a madarak lemondtak a repülésről és a szárnyaikról, így a költséges szárnyizmok visszafejlődtek. Csupán egy nevezetes kivétel akad, a röpképtelen madarak valamennyi csoportja közül is a legrégibb és leghíresebb, a lapos szegycsontú futómada-

* Amely előtt ugyancsak emlékezetesen tiszteleg Douglas Adams a *The Last Chance to See* (Utolsó esély, hogy lássuk) című kötetében.

rak, a struccalakúak rendje. A lapos szegycsontúak evolúciós története ugyancsak eltér a többi röpképtelen madárétól, és ezt egy másik meséből, *Az elefántmadár meséjé*ből fogjuk megismerni.

Az elefántmadár meséje

*Az Ezeregyéjszaka meséi*ből leginkább a rokmadár képzete borzolta föl gyermeki képzeletvilágomat, mely roppant madarat Szindbád, a tengerész megpillantván, a napot eltakaró felhőnek vélt:

> Hallottam korábban zarándokoktól és utazóktól, hogy bizonyos szigeteken él egy roknak nevezett madár, amely kicsinyeit elefántokkal táplálja.

A rok (rucke vagy rukh) legendája az *Ezeregyéjszaka* több meséjében is felbukkan – kettőben a Szindbád-történetek, kettőben pedig az Abdal-Rahmán-történetek közül. Marco Polo is megemlíti, mondván, hogy Madagaszkáron él, s beszélték, hogy a madagaszkári király követei egy rokmadártollat ajándékoztak Katáj kánjának. Michael Drayton (1563–1631) a roppant madár nevét hívja segítségül, hogy szembeállítsa a közmondásosan apró ökörszemmel:

> *„Minden tollas lény, mit csak ismertünk*
> *A nagy rukktól a kis ökörszemig…"*

Honnan ered a rok legendája? És ha csak fantázia szüleménye, honnét a visszatérő kapcsolata Madagaszkárral?

A madagaszkári kövületek arról vallanak, hogy egy óriási madár, az *Aepyornis maximus* élt itt, talán egészen a tizenhetedik századig,* bár valószínűbb, hogy csak Kr. u. 1000 tájáig. Az elefántmadár végül megadta magát, részben talán a tojásait lopkodó emberek miatt, amelyek kerülete elérte az egy métert,** és több élelmet biztosíthatott, mint 200 tyúktojás. Az elefántmadár három méter magas volt, és csaknem fél tonnát nyomott – annyit, mint öt strucc. A legendás roktól eltérően (amely 16 méteres szárnyfesztávolsága segítségével emelte föl Szindbádot és az elefántokat), a valódi elefántmadár nem tudott repülni, és szárnyai viszonylag kicsik voltak, akár egy struccéi. Bár unokatestvérek voltak, mégsem lenne helyes felnagyított struccként elképzelnünk: robusztusabb, súlyosabb felépítésű madár volt, egyfajta tollas tank, jókora fejjel és nyakkal, nem úgy, mint a strucc karcsú periszkópja. Ha figyelembe vesszük, milyen könnyedén növekszenek és túloznak a legendák, akkor az *Aepyornis* elképzelhető ősnemzője a roknak.

Az elefántmadár vélhetően vegetáriánus volt, nem úgy, mint a mesés elefántfaló rok, vagy az óriás húsevő madarak korábbi csoportja, mint amilyen az Újvilág phorusrhachoid családja is. Olyan magasra megnőttek, mint az *Aepyornis*, félelmetes, horgas csőrük volt, amely – mintha csak igazolni akarná becenevüket: a „tollas tyrannosaurust" – képesnek tűnik arra, hogy egészben lenyeljen vele egy közepes termetű jogtudort. Ezek a hatalmas daruk első látásra jobban illenek a rettentő rok szerepébe, mint az *Aepyornis*, de túl régen kihaltak ahhoz, hogy a legendának tápot adhattak volna, másfelől pedig Szindbád (vagy valódi arab megfelelője) soha nem járt Amerikában.

* Valójában több rokon fajról van szó, amelyek két nembe, az *Aepyornis*ba és a *Mullerornis*ba tartoztak. Ahogy a neve is mutatja, közülük leginkább az *A. maximus* szolgál rá az elefántmadár névre.

** Vigyázat, nem az átmérője! Nem is olyan meglepő, mint első hallásra.



Elmentek, és nincs többé moa
Sir Richard Owen a *Dinornis*, vagy óriásmoa csontvázával. Owen, akinek a dinoszaurusz elnevezést köszönhetjük, elsőként írta le a moát.

A madagaszkári elefántmadár tudomásunk szerint a legsúlyosabb valaha élt madár, de nem ő volt a legmagasabb. Néhány moafaj elérhette a három és fél méteres magasságot, de csak kinyújtott nyakkal, mint a Richard Owen által bemutatott csontváz. Az életben úgy tűnik, rendesen csak kicsivel emelték a fejüket a hátuk fölé. Ám a moa sem táplálhatta a rok legendáját, hiszen Új-Zéland is jóval túl feküdt Szindbád látóhatárán. Mintegy tíz moafaj élt Új-Zélandon, amelyek a pulyka nagyságútól a strucc kétszereséig terjedtek.* A moák abban a tekintetben különlegesek a röpképtelen madarak között, hogy egyáltalán nincs nyoma a szárnyaknak, még lappangó szárnycsontmaradványok formájában sem. Új-Zélandnak mind az északi, mind a déli szigetén virágoztak, egészen a maori nép Kr. u. 1250 körüli beáramlásáig. Könnyű zsákmányt jelentettek, és nem kétséges, hogy ugyanazon oknál fogva, mint a dodó. A (kihalt) Haast-sasok, a valaha élt legnagyobb sasok kivételével több tízmillió évig nem találkoztak ragadozókkal, amíg a maorik mind le nem mészárolták őket, kiválogatva a legfinomabb részeket, a többit meg elhajigálva, nem első ízben hazudtolva meg a nemes vadember ábrándos mítoszát, aki tiszteletteljes harmóniában él a környezetével. Mire az első európaiak megérkeztek, alig néhány évszázaddal a maorik után, az utolsó moának is vége volt. Legendák és megpillantásukról szóló képtelen történetek a mai napig léteznek, de nincs remény. A siratóének szavaival, amelyet a kesergő új-zélandi tájszólásban énekelnek:

Nincs moa, nincs moa
*Az öreg Ao-tea-roán***
Nem találod őket
Megették őket,
Odavannak, nincs többé moa!

* A kivik kisebbek, mint a pulykák, de már nem tekintik őket törpemoáknak. Meglátjuk, közelebbi rokonai az emuknak és a kazuároknak, és később érkeztek Ausztráliából.

** Új-Zéland maori neve.

Az elefántmadarak és moák (ám a húsevő phorusrhachoidok vagy a különböző egyéb kihalt röpképtelen óriások nem) a lapos szegycsontúak ősi madárcsaládjába tartoztak, amelynek ma a dél-amerikai nanduk, az ausztráliai emuk, az új-guineai és ausztráliai kazuárok, az új-zélandi kivik és a ma Afrikára és Arábiára korlátozódó, de korábban Ázsiában, sőt Európában is gyakori struccok a tagjai.

Örömömet lelem a természetes kiválasztódás hatalmában, és elégedettséggel töltene el, ha arról számolhatnék be, hogy a lapos szegycsontúak röpképtelenségüket a világ különböző részein külön-külön, *A dodó meséjé*nek üzenetével összhangban fejlesztették ki. Más szóval szerettem volna, ha a lapos szegycsontúak csoportja mesterséges alakulat lenne, amelynek felszíni hasonlóságait a világ különböző részeinek eltérő szelekciós nyomása formálta. Sajnos, nem így van. A lapos szegycsontúak igazi története, amit az elefántmadárra bízok, ettől igen eltérő és még ennél is lenyűgözőbb lesz. *Az elefántmadár meséje* utóhangjával együtt Gondwanáról és a kontinensek vándorlásáról, vagy ahogy ma nevezik, a lemeztektonikáról szól.

A lapos szegycsontúak valódi természetes csoportot alkotnak. A struccok, emuk, kazuárok, nanduk, kivik, moák és elefántmadarak tényleg közelebbi rokonai egymásnak, mint más madaraknak. Ráadásul közös ősük is röpképtelen volt. Talán eredetileg *A dodó meséjé*nek okfejtése alapján azt követően veszítette el szárnyait, hogy Gondwanáról elrepült valami isten háta mögötti szigetre. Ám ez azelőtt történt, hogy a lapos szegycsontúak azokra a különböző formákra különültek volna, amelyeknek leszármazottait ma a déli kontinenseken és szigeteken találjuk meg. Ráadásul a lapos szegycsontúaknak különválására a többi madártól rendkívül régen került sor. A lapos szegycsontúak az alábbi értelemben valóban ősi csoport. A ma élő madarak két csoportra tagolódnak. Egyfelől vannak a lapos szegycsontúak és a tinamuk (egy dél-amerikai madárcsoport, amely tud repülni). Másfelől van az összes többi madár együttvéve. Szóval egy madár vagy lapos szegycsontú/tinamu, vagy a többiek között a helye, szóval e két kategória közti megoszlás a legrégibb az összes túlélő madár között.*

A lapos szegycsontúak tehát természetes csoport, közös őssel, amely ugyancsak szárnyatlan volt. Ezzel nem állítjuk, hogy valamennyi lapos szegycsontú egy korábbi őse nem repült volna. Természetesen repült, különben miért lennének (többségüknek) csökevény szárnyai?** Ám az összes mai lapos szegycsontú legutóbbi közös őse már jóval azelőtt tömpe csonkká csökevényesítette a szárnyait, hogy leszármazottai a ma látható, különféle lapos szegycsontúkká ágaztak volna szét. Ez megfoszt bennünket jól bevált, *A dodó meséjé*ben szereplő őseinktől, amelyek tengereken átröpülve kötnek ki távoli földeken, és aztán egymástól függetlenül veszítik el szárnyaikat. A lapos szegycsontúak más-más jelenlegi otthonukat a repülés jótéteménye nélkül érték el. Hogy kerültek hát oda?

Mentek. Egész úton.*** Hogyan lehetséges ez? Ez a lényege az elefántmadár egész meséjének. Nem volt ott a tenger – nem kellett átkelni semmin. Amit ma külön kontinensekként ismerünk, azok összefüggtek, és a nagy, röpképtelen madarak száraz lábbal sétáltak át.

Afrikában töltött gyermekkoromban apám engem és a húgomat elalvás előtt a tááááávoli, Gonwonky-földön élő „Broncosaurus"-ról szóló mesékkel szórakoztatott, miközben foszforeszkáló karórájára szögezve szemünket, a szúnyogháló alatt feküdtünk. Teljesen el is feledkeztem az egészről mindaddig, míg jóval később tanulmányaim során elő nem bukkant a nagy déli kontinens, Gondwanaföld.

Százötven millió évvel ezelőtt Gondwanaföld vagy Gondwana**** magában foglalta mindazt, amit ma Dél-Amerikaként, Afrikaként, Arábiaként, Antarktiszként, Ausztráliaként, Madagaszkárként és Indiaként ismerünk. Afrika déli csücske érintkezett az Antarktisszal, s kissé „jobbra" dőlt. Ezért egy háromszögletű hasadék tátongott Afrika keleti partja és az Antarktisz északi partja között – bár nem volt ez igazából hasadék, hiszen India töltötte ki. Akkoriban Indiát óceán, a Tethys választotta el Ázsia (Laurázsia) többi részétől, amelynek központja nagyjából egybeesik a mai Indiai-óceánnal, és amelynek legnyugatibb nyúlványaiból alakult ki a mai Földközi-tenger. Madagaszkár India és Afrika közt fészkelt, mindkettővel érintkezve. Új-Guinea és az embrionális Új-Zéland szintén az Antarktiszhoz kapcsolódtak, Indiától távolabb.

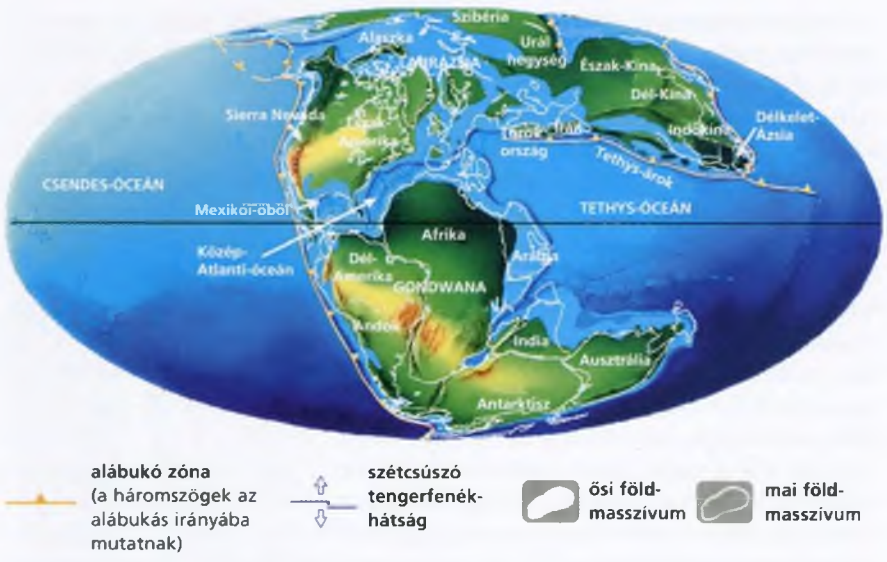
Ám Gondwana éppen a feldarabolódás előtt állt. Láthatjuk, merre tart a mese. Amikor a lapos szegycsontú madarak először száguldoztak Gondwanán, gyalog-

* Túlélő madarat kell mondanom, mert létezik egy csomó kihalt madárcsoport (köztük röpképtelen és repülő formákkal), amelyek nincsenek unokatestvéri kapcsolatban a mai madarakkal.

** Még kövületbizonyítékkal is rendelkezünk: a *Lithornis*, a lapos szegycsontúak egy repülő ősc formájában, amely a paleocén és eocén korban élt Észak-Amerikában.

*** A kivi valószínűsíthető kivételével, miként meglátjuk.

****Gondwanaföldet a tautológia vádja érte, mivel a *vana* szanszkritul 'földet' jelent (valójában erdőt). Én nem használom, pedig megvan az az erénye, hogy megkülönbözteti az óriás kontinenst a középindiai Madhya Pradeshtől, ahol a gondok élnek, s ezért ma is Gondwanának hívják, amely nevét adta a Gondwana geológiai kőzetrétegnek.



A Föld a felső jurában, körülbelül 150 millió évvel ezelőtt [257]. Pangea, a szuperkontinens az északi Laurázsiára és a déli Gondwanára szakadt, s megindult az Atlanti-óceán kialakulása. Maga Gondwana is a feldarabolódás küszöbén állt. Az éghajlat igen meleg volt.

szerrel eljuthattak bármelyik későbbi lakóhelyükről egy másik helyre. Lapos szegycsontú madarakat az Antarktiszon is találtak, amelyet akkoriban, a növényi fosszíliákból ítélve, meleg, szubtrópusi erdők borítottak. Az ősi lapos szegycsontúak szabadon jártak-keltek Gondwana egész kontinensén, nem is sejtve, hogy szülőföldjük arra ítéltetett, hogy több ezer mérföldes óceánok által elválasztott darabokra szakadjon. Amikor feldarabolódott, a lapos szegycsontúak is a darabokkal tartottak. Rendesen tutajoztak. Ám az ő tutajuk nem a közmondásos mangrovetöredék, hanem maga a lábuk alatti talaj volt. És rengeteg idő állt a rendelkezésükre, hogy útjaik eltérjenek egymástól távolodó, elkülönült földmasszívumaikon.

A feldarabolódás meglehetősen hirtelen és robbanásszerűen következett be, de csak a geológiai órával mérve. Körülbelül 150 millió évvel ezelőtt (a még Madagaszkárhoz tapadó) India kezdett leszakadni Afrikáról. Amint a távolság szélesedett Afrika és India/Madagaszkár között, mintegy 140 millió éve, nyílt víz tárult föl India és az Antarktisz túloldalán, valamint Ausztrália és az Antarktisz között. Kicsit később Dél-Amerika indult meg, hogy eltávolodjon Afrika nyugati partvidékétől, így 120 millió évvel ezelőttre egy igen hosszú és keskeny, töredezett csatorna választotta el kettőjüket. Az utolsó hely, ahol még át lehetett sétálni, az volt, ahol Nyugat-Afrika egy cérnaszállal a mai Brazíliához kötődött. Addigra egy hasonlóan hosszú, keskeny csatorna tárult föl az Antarktisz és Ausztrália új, déli partja között. Körülbelül 80 millió éve Madagaszkár lehasadt Indiáról, és nagyjából a mai helyén maradt, miközben India megkezdte látványosan gyors vándorútját északra, míg végül nekiütközött Ázsia déli partjának, és felgyűrte a Himaláját. Ugyanekkor Gondwana többi töredékei tovább folytatták szétszóródásukat, miközben mindegyik magán hordozta saját lapos szegycsontú utasjegyzékét – a nandu ősökét az új dél-amerikai kontinensen, az elefántmadár ősökét India/Madagaszkáron, az ősi emukét Ausztrálián, az ősi struccokét… de ne tovább! Hadd hagyjam későbbre ezt az ügyet.

A növényi kövületek vallomása szerint a kréta kori Antarktisz szubtropikus volt, buja vegetációval, amely az állatok számára kiváló élőhelyet nyújtott.* A ténylege-

* Bár különösnek tűnhet számunkra, a legdélebbi részek az év jelentős részét továbbra is sötétben tölthették. Feltehetően ez vezetett egy sor olyan viselkedésbeli alkalmazkodásra, amelyeknek nincsenek mai megfelelőik, mivel a mai szélső szélességi fokokon szélsőségesen hideg van.

sen megtalált kövületek szegényessége nem utalhat egyúttal az állatvilág szegényességére is, hisz az ilyen gazdag vegetációnak megfelelőképp gazdag állatvilágot kellett eltartania. Már említettem, hogy az *eddig* megtalált néhány állati fosszília közt akadnak nagy testű lapos szegycsontúak is, melyek némelyike akkora volt, mint a moa, és valószínűleg ezek a madarak hemzsegtek a kréta kori Antarktiszon. Ha nem is feltétlenül volt a Lapos Mellűek Nagyállomása, az Antarktisz akkor is kellemes és laposmellű-barát földhidat kínált, mint amely összekötötte a világ egyik felén Afrikát és Dél-Amerikát, míg Ausztráliát, Új-Zélandot, valamint India/Madagaszkárt a másikon.

Egy vándorló lapos szegycsontú ős szemszögéből nem az számított, hogy saját kontinensük zöme mikor szakadt el Gondwana többi részétől, hanem az az utolsó pillanat, amikor még át lehetett ballagni a résen. Például 100 millió évvel ezelőttre Afrika már messzire eltávolodott az Antarktisztól délen és India/Madagaszkártól keleten. Innét nézve Afrika már sziget volt. Ugyancsak eltávolodott Dél-Amerikától csaknem az egész nyugati part mentén, ám még megvolt az a megnyúlt híd a nyugat-afrikai nyúlvány déli szegélye és a mai Brazília között. Ez volt a kapcsolat utolsó pillanata a nanduk ősei és az egykori Gondwana többi maradványa között. Egyéb utolsó érintkezési időpontjaink is vannak a gondwanai kontinentális diaszpóra különböző elemei között.

Vajon létezik-e egybeesés annak időpontja, amikor a különböző kontinensek és szigetek elváltak egymástól, és aközött, amikor a molakuláris genetika bizonysága szerint a megfelelő lapos szegycsontú madárvonalak evolúciója elvált egymástól? Vagy ha ez túl sok egyszerre, akkor legalább e két időmeghatározás megfelel egymásnak? Igen. Ráadásul (a kivi és bizonyos – később tárgyalandó – értelemben a strucc) kivételével ezek a megfelelések összeegyeztethetetlenek a másik elméletváltozattal, mely szerint a lapos szegycsontúak azt *követően* szóródtak volna szét jelenlegi földmasszívumaikra, hogy azok elkülönültek egymástól.

Alan Cooper és oxfordi kollégái, akikkel már találkoztunk *A dodó meséjé*ben, összehasonlították valamennyi lapos szegycsontú madár molekuláris genetikai adatait. Könnyen megy ez a ma is élő madarak esetében. Csupán vérmintát kell venni a struccok, emuk és a többiek állatkerti példányaitól. Másfelől rengeteg szekvenciát közzé is tettek már a szakirodalomban. Ám a Cooper-csapat ezt megfejelte azzal, hogy két moa és elefántmadár nem mitokondriális DNS-szekvenciáit is megállapította, amelyhez csak múzeumokból kölcsönzött csontok álltak a rendelkezésükre. Figyelemre méltó módon a csapatnak sikerült összeraknia mindkét moanem teljes mitokondriális genomját, jóllehet legalább 700 éve kimúltak. Az elefántmadár anyaga kevésbé jól őrződött meg, de azért sikerült sorba állítani néhány elefántmadár-DNS-t. Ezeket az ősi DNS-szekvenciákat aztán össze lehetett vetni egymással és a ma élő lapos szegycsontúak szekvenciáival. A molekulárisóra-technika lehetővé tette, hogy megközelítőleg meghatározzák a lapos szegycsontúak evolúciós szétválásainak időpontjait.

Szép lenne, ha azt mondhatnánk, hogy a lapos szegycsontúak molekuláris szétválása valóban pontosan egybeesik hazáik földrajzi szétválásával. Sajnos az időmeghatározás nem annyira pontos, hogy biztosra mehetnénk. Jusson eszünkbe az is, hogy a sziget-ugrás még a röpképtelen állatok számára is lehetőség maradt egy darabig még azután is, hogy kontinenseik eltávolodtak egymástól, így annak pontos

időpontja, hogy Gondwana egyes részei mikor váltak szét, nem túl lényeges. A röpképtelen madarak végül is nem *jobban* röpképtelenek, mint azok az emlősök, amelyek, így például a majmok és a rágcsálók, valahogy kimódolták, hogy átkeljenek Afrikából Dél-Amerikába, vagy mint az iguánák, amelyeket a hurrikán Anguillára röpített. Az ügyet bonyolítja, hogy Gondwana nagyrészt és úgyszólván egy időben (persze most is a szó geológiai értelmében, pár millió év rátartással) töredezett fel. Amit a molekuláris sorozatok szerint biztosan állíthatunk, az az, hogy a lapos szegycsontúak őseinek elkülönülése igen régi – eléggé régi ahhoz, hogy összeegyeztethető legyen azzal a nézettel, miszerint őseik már külön déli földtekei otthonukban voltak, amikor azok szétváltak.

Leginkább a következő történhetett. Képzeljük el úgy az Antarktiszt, mint azt az alapegységet, amelyről a többi kontinens lehasadt. Persze a kontinensek egymástól is elszakadtak, de így vonatkozási pontot kapunk, másfelől az Antarktisz kellően központi fekvésű, s így könnyebben magunk elé idézzük az eseményeket. Mi több, mint láttuk, a mesénk számára lényeges időszakban, a krétában, amely a 100 milliós határ mindkét oldalán körülbelül 40 millió évre terjedt ki, az Antarktisz semmiképp sem a mai fagyos pusztaság volt. Azért volt ez így, mert akkoriban az Antarktisz enyhébb délkörön feküdt? Nem: csupán kicsivel feküdt mai helyétől északabbra. Azért történt így, mert a partvonalak alakja a trópusokról meleg tengeráramlatokat irányított akkoriban ily távoli délkörre, ahhoz hasonlóan, csak kissé nagyobb hatást érve el, mint a Golf-áramlat, amely ma pálmafákat nevel Nyugat-Skóciában. Gondwana feldarabolódásának egyik következménye éppen az volt, hogy a meleg tengeráramlatok már nem délnek irányultak. Az Antarktisz visszatért a szélességi foknak megfelelő fagyos éghajlathoz, s azóta is a hideg uralkodik ott.

Vagyis éppen jókor élt rengeteg lapos szegycsontú madár az Antarkiszon. A mese hátralévő része egyértelmű. Dél-Amerikát máris benépesítették a nanduk ősei. Új-Zéland körülbelül 70 millió éve szakadt le az Antarktiszról, s rakományként magával vitte a moák őseit. A molekuláris adatok szerint a moák már mintegy 80 millió éve elszakadtak a többi lapos szegycsontútól. Ausztrália fenntartotta a kapcsolatát az Antarktisszal körülbelül 56 millió évvel ezelőttig. Ez megfelel annak a molekuláris bizonyítéknak, hogy a moák korábban (82 millió éve) elváltak a többi lapos szegycsontútól, mint az ausztráliai emuktól és kazuároktól, amelyek újabb, mintegy 30 millió éve távolodtak el egymástól. Talán a kivik az egyedüli kivételek azon szabály alól, hogy a lapos szegycsontú madarak úgy gyalogoltak el mindenhova. A kivik nem közeli rokonai a moáknak. Az ausztrál lapos szegycsontúakkal állnak rokonságban, és feltehetően sziget-ugrással, Új-Kaledónián keresztül jutottak Ausztráliából Új-Zélandra. Ami az elefántmadarat illeti, ő Madagaszkáron maradt India 75 millió évvel ezelőtti elszakadását követően, és ott is maradt, amíg meg nem érkezett az ember.

Megígértem, hogy visszatérek a strucchoz. Körülbelül 90 millió éve Afrikából többé már nem lehetett szárazföldön átkelni Gondwana többi részébe. Éppen ezért ez lehet az utolsó olyan pillanat, gondolhatnánk, amikor a strucc, lévén afrikai madár, eltért a többi lapos szegycsontútól. Valójában azonban a molekuláris bizonyíték arra utal, hogy a struccvonal később, körülbelül 75 millió éve vált el. Miként lehetséges ez?

A magyarázat kissé bonyolult, így hadd ismételjem meg a problémát. A földrajzi bizonyíték szerint Afrika már 90 millió éve elkülönült a korábbi Gondwana többi

részétől, viszont a molekuláris bizonyíték szerint a strucc körülbelül 75 millió éve vált el a többi gondwanai madártól. Hol voltak a strucc ősei a közbeeső 15 millió évben? Az említett okoknál fogva, feltehetően nem Afrikában. Gondwana maradékai közül bárhol lehettek, mivel az összes többi rész – Dél-Amerika, Ausztrália, Új-Zéland és India/Madagaszkár kapcsolatban maradtak egymással, még ha csak az Antarktiszon vagy elnyúlt földhidakon keresztül is.

Akkor hát hogyan kötöttek ki a mai struccok Afrikában? Alan Cooper eredeti ötlettel állt elő. India/Madagaszkár egy Kerguélen-hátság nevű (ma már víz alatt lévő) földnyelven keresztül 75 millió évvel ezelőttig összekapcsolódott az Antarktisszal, amikor is a mai Sri Lanka eltávolodott. Eddig a pillanatig a strucc és az elefántmadár ősei még kapcsolatban álltak az Antarktisszal – s így a korábban elkülönült Afrika kivételével Gondwana többi részével is. Cooper szerint a strucc és az elefántmadár ősei India/Madagaszkáron tartózkodtak a szétválás idején. E szerint az elmélet szerint a 75 millió évet tekinthetjük annak az utolsó pillanatnak, amikor a strucc és az elefántmadár ágak elválhattak a többi lapos szegycsontútól, s ez jól egyezik a molekuláris adatokkal. Aztán úgy 5 millió évvel később, India leszakadt Madagaszkárról, s magával vitte az útra azokat, amelyekből a struccok alakultak ki, míg maga mögött hagyta azokat, amelyek elefántmadárrá váltak.



Annyit nyomott, mint öt strucc
Maurice Wilson festménye az elefántmadárról *(Aepyornis maximus)*.

Eddig meg is volnánk. Viszont még mindig megvan a talány, amellyel a mesének ezt a szakaszát nyitottuk. Ha a strucc őseit eldugták a korabeli India szigeten, hogy kerültek végül Afrikába? Ezzel elérkeztünk Cooper elméletének utolsó részéhez. India, emlékezzünk, Madagaszkárról leválván sebesen északnak tartott jelenlegi, ázsiai helyére. Cooper szerint magával vitte a strucc őseit, amelyek kihasználták az összeütközést arra, hogy szétszóródjanak Ázsiában. Aztán, Ázsiában a strucc vonal nagy ívben szétterül északra. A strucc ma is él Arábiában, de fosszíliáit megtalálták Indiában, sőt Európában is. Afrika akkoriban, akárcsak ma, Arábián keresztül kötődött Ázsiához, s a struccok végül ezen az útvonalon keresztül érkeztek meg, mintegy 20 millió évvel ezelőtt Afrikába, ahol ma megtalálhatók. Cooper szerint a strucc semmi esetre sem az egyedüli állat volt, amely az indiai komppal kelt át Ázsiába. Szerinte India gondwanai állatokból álló szállítmánya jelentős szerepet játszott Ázsiának a dinoszauruszok halálos katasztrófáját követő újrabenépesítésében.

Az elefántokat elragadni képes hatalmas madár, a rok meséjének a gyermekkor csodái közt a helye. Ám annak igaz története, hogy maguk a kontinensek miként vándoroltak el ezer mérföldekre, nem még nagyobb, a felnőttek képzeletvilágához méltóbb csoda-e? A részleteket a mese utóhangjából tudjuk meg.

Utóhang az elefántmadár meséjéhez

A manapság lemeztektonikának nevezett elmélet a modern tudomány egyik sikertörténete. Amikor apám az 1930-as években Oxfordba járt, az akkoriban kontinensek vándorlásának nevezett elméletet még sokan kinevették, ha nem is mindenki. Az elméletet a német meteorológussal, Alfred Wegenerrel (1880–1930) kapcsolták össze, de előtte mások is felvetettek valami hasonlót. Sokan észrevették a hajszálpontos megegyezést Dél-Amerika keleti és Afrika nyugati partja között, de ezt általában a véletlen számlájára írták. Akadt néhány még ennél is meglepőbb egybeesés az állatok és növények elterjedésében, amit a kontinensek közti földhidak létezésével kellett magyarázni. Ám a tudósok többnyire úgy vélték, hogy a térkép inkább a vízszint ingadozásából, semmint a kontinensek oldalirányú elmozdulásából adódóan változott. A Gondwana nevet eredetileg egy, a jelenlegi helyükön lévő Afrikából és Dél-Amerikából álló, a Déli-Atlanti-óceán lecsapolásával nyert kontinensnek adták. Wegener eszméje, hogy maguk a kontinensek sodródtak, ennél sokkal forradalmibb – és ellentmondásosabb – volt.

Az ügy még akkor sem zárult le egyszer és mindenkorra, amikor nem az 1930-as években, de már az 1960-as években magam is egyetemista voltam. Charles Elton, a veterán oxfordi ökológus adott elő e tárgyban. Az előadás végén szavazást tartott (sajnálattal kell mondanom, hiszen a demokrácia nem az igazság eldöntésére való), és alighanem egyenlően oszlottunk meg. Miután végeztem, az egész hamarosan megváltozott. Kiderült, hogy Wegener jóval közelebb állt az igazsághoz, mint az őt kinevető kortársainak többsége. Leginkább abban tévedett, hogy úgy vélte, a meglévő kontinensmasszívumok úsztak a félig folyékony köpenyen, s úgy vergődtek át rajta, mint tutajok a tengeren. A lemeztektonika modern elmélete szerint a Föld egész felszíne – a tengerfenék éppúgy, mint a látható kontinensek – *lemezek*ből áll. A kontinensek a lemezek sűrű, kevésbé fajsúlyos részét képezik, amelyek hegyeket formálva kitüremkednek a légkörbe, és lenyúlnak a köpenybe. A lemezek határai legalább olyan gyakran fekszenek a tenger alatt, mint afölött. Az elméletet valójában akkor értjük meg leginkább, ha elfeledkezünk a tengerről, s úgy teszünk, mintha nem volna. Majd később visszahozzuk, hogy ellepje a mélyföldeket.

A lemezek nem vízen, és nem is olvadt kőzettengeren haladnak. Ehelyett a Föld egész felszínét egymáson csúszó, s alábukásnak (szubdukció) nevezett folyamatban olykor egymás alá bukó lemezburkolat borítja, mint valami páncél. Amikor valamelyik lemez elmozdul, nem hagy maga után hézagot, mint Wegener képzelte, hanem a „hézagot", a tengerfenék tágulásának nevezett folyamatban, folyamatosan kitölti a földköpeny mély rétegeiből felbugyogó és a lemez anyagához hozzájáruló új anyag. Bizonyos értelemben a lemez szó túl merev képzetet kelt, s ennél jobb metafora lenne a futószalag vagy a zárható tetejű írópult. A Közép-Atlanti-törés legközelebbi és legvilágosabb példáján világítom meg a kérdést.

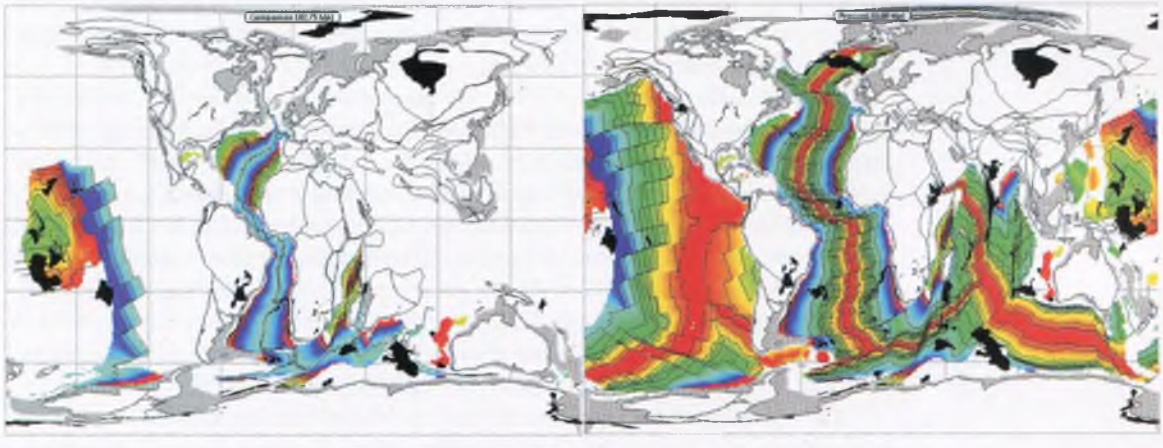
A Közép-Atlanti-törés egy 16 000 kilométer hosszú víz alatti kanyon, amely hatalmas S kanyarban kígyózik végig az Északi- és Déli-Atlanti-óceán közepén. A törés vulkanikus tevékenységi övezet. Folyékony kőzet tör föl a köpeny mélyéről, amely aztán oldalirányba, keletre és nyugatra szétterül, mint a zárható tetejű írópult görgőlapjai. A keletre tartó görgőlap Afrikát tolja el az Atlanti-óceán

közepétől. A nyugatra tartó görgőlap Dél-Amerikát tolja az ellenkező irányba. Ezért van az, hogy ez a két kontinens évente egy centiméterrel távolodik egymástól, ami, miként valaki érzékletesen rámutatott, nagyjából a köröm növekedési ütemének felel meg, bár az elmozdulás mértéke lemezenként meglehetősen eltérő. Ugyanaz az erő ez, amely Gondwana feldarabolódásakor is szétnyomta őket. Hasonló vulkanikus kitörési zónák találhatók a Csendes-óceán és az Indiai-óceán fenekén, valamint sok más helyen is (bár olykor rézsűnek, s nem törésnek nevezik őket). Ezek a táguló óceáni törésvonalak a lemezmozgások hajtómotorjai.

Az efféle szóhasználat, mint a „tolja", azonban durván félrevezető, ha olyan képzetet kelt, mintha a tengerfenéken feltörő anyag hátulról „tolná" a lemezt. Valóban: hogyan is lehetne egy olyan masszív tárgyat, mint egy kontinentális lemez, hátulról tolva elmozdítani? Nem erről van szó. Hanem arról, hogy a köpeny felső kérgét mozgatják az alsó olvadt kőzetben lévő áramlások. A lemezeket nem hátulról tolják, hanem a lemez egész alsó felületébe belekapaszkodva azok az áramlások sodorják, amelyek abban a folyadékban kavarognak, amelyen a lemezek úsznak.

A lemeztektonika bizonyítékai elegánsan meggyőzőek, s az elmélet minden józan kétségen túl bebizonyosodott. Ha megvizsgáljuk valamely törés, mint például a Közép-Atlanti-törés, mindkét oldalán lévő kőzetek korát, valóban figyelemre méltó dolgot észlelünk. A töréshez legközelebb elhelyezkedő kőzetek a legfiatalabbak. Minél messzebb távolodunk oldalirányba a töréstől, annál öregebbek a kőzetek. Ennek nyomán, ha felrajzoljuk az „izochronokat" (vagyis az azonos korú rétegvonalakat), akkor azok párhuzamosan futnak magával a töréssel, végigkígyózva az Északi-Atlanti-, majd a Dél-Atlanti-óceánon. Igaz ez a törés mindkét oldalára. A törés egyik oldalán futó izochronok csaknem tökéletes tükörképei a másik oldalénak.

Képzeljük el, hogy egy búvártraktorral a tizedik hosszúsági fok mentén keleti irányba tartva, a brazil Maceió kikötőből kiindulva, az Ascensión szigetek mellett éppen elhaladva, és az angolai Barra do Cuanza-fokot megcélozva nekivágunk, hogy átkeljünk az Atlanti-óceán fenekén. Utunk közben mintát veszünk a lánctalpas traktorunk alatti kőzetből (a gumikerekek nem bírnák a nyomást). A vulkanikus tengerfenék szétcsúszásának elméletéből következően csak a vulkáni bazalt (megszilárdult láva) érdekel bennünket, amely ott húzódik legalul, bármiféle üledékes



Az alábbi két térkép a tengerfenék kőzeteinek a maradványmágnesség módszerével meghatározott korát ábrázolja. A bal oldali térképen a 68 millió évvel ezelőtti, felső kréta kori Földet láthatjuk, amikor az Atlanti-óceán a mainál jóval keskenyebb volt. A jobb oldali térkép a mai Földet mutatja. Az egymásba mosódó színek a kréta kori tengerfenék kőzeteit ábrázolják, amint hátrább tolta őket az Atlanti-óceánt szélesítő új tengerfenék-képződés. Hasonló mozgás látható a Csendes- és az Indiai-óceánban is.

kőzet rakódott is rá felülről. Ezek azok a vulkanikus kőzetek, amelyek az elmélet szerint a görgőlapot vagy futószalagot alkotják, amin Dél-Amerika nyugatra, míg Afrika keletre mozdul el. Átfúrjuk az üledékes kőzetet, amely helyenként, az évmilliókig tartó lerakódásnak köszönhetően, igen vastag lehet, s mintát veszünk az alatta fekvő, kemény, vulkanikus kőzetből.

Keletre tartó utazásunk első 50 kilométerén a kontinentális pajzson haladunk. Ez számunkra most egyáltalán nem számít tengerfenéknek. Még nem hagytuk el a dél-amerikai kontinenst, csupán annyi történik, hogy sekély vízréteg van a fejünk fölött. Különben is, a lemeztektonika megértéséhez nem veszünk tudomást a vízről. Ám most gyorsan leereszkedünk a tényleges tengerfenékre, felvesszük az első mintánkat az igazi tengerfenékről, és sugárzásmérővel meghatározzuk az üledék alatt fekvő bazalt korát. Itt, az Atlanti-óceán nyugati peremén a minta a mintegy 140 millió évvel ezelőtti alsó kréta korinak bizonyul. Keleti utunkat folytatva szabályos időközönként mintát véve az alul meghúzódó vulkanikus kőzetekből, figyelemre méltó tényre bukkanunk: a kőzetek egyre fiatalabbak. Kiindulási pontunktól ötszáz kilométerre jócskán benne járunk a felső kréta korban, amely nem egészen 100 millió éve volt. Mintegy 730 kilométert megtéve utunkon, noha nem látunk elkülönült határt, mivel csak vulkanikus kőzetet vizsgálunk, átszeljük a kréta és a paleogén kor közti 65 millió évvel ezelőtti határt, azt a geológiai pillanatot, amikor a szárazföldön hirtelen eltűntek a dinoszauruszok. A kőzetek korának csökkenése folytatódik. Minél keletebbre érünk, a tenger alatti vulkanikus kőzet egyre fiatalabb lesz. Ezerhatszáz kilométerre kiindulópontunktól a pliocénbe érünk, s olyan fiatal kőzeteteket vizsgálunk, amelyek egyidősek az európai gyapjas mamuttal és Afrikában Lucyvel.

Amikor elérjük magát a Közép-Atlanti-törést, körülbelül 1620 kilométerre Dél-Amerikától, és (ezen a ponton) egy kissé távolabb Afrikától, azt vesszük észre, hogy a kőzetmintáink olyan fiatalok, hogy saját korunkból származnak. Éppen most törtek föl a tengerfenék mélységeiből. Sőt ha nagyon szerencsések vagyunk, akkor tanúi lehetünk egy vulkáni kitörésnek a Közép-Atlanti-törésnek éppen azon a pontján, ahol áthaladunk. Ami azt illeti, valóban szerencsésnek kellene lennünk, mert a folytonosan mozgó görgős futószalag képzet ellenére, valójában nincs szó folytonos mozgásról. Hogyan is lehetne, ha tekintetbe vesszük, hogy a futószalag évente átlagosan egy centimétert mozdul? Amikor kitörés van, a kőzet több mint egy centimétert mozdul el. De éppígy évente egynél kevesebbszer kerül sor kitörésekre a törésvonal valamely pontján.

Átkelvén a Közép-Atlanti-törésen folytatjuk utunkat keleti irányba, Afrika felé, miközben mintákat veszünk az üledék alatti vulkanikus kőzetből. Amire most felfigyelünk, az az, hogy a kőzetek kora tükörképe a korábban merteknek. A kőzetek egyre idősebbek lesznek, ahogy távolodunk a középső törésvonaltól, s ez így folytatódik tovább egész Afrikáig és az Atlanti-óceán keleti pereméig. Utolsó mintánk, nem messze az afrikai kontinentális pajzstól, az alsó kréta korból származó kőzetet mutat, csakúgy, mint a neki megfelelő tükörképe a nyugati oldalon, kevéssel Dél-Amerika előtt. Valójában az egész sorozat a Közép-Atlanti-törésvonalon vetődik, s az egész tükrözés pontosabb, mint amennyire a sugárzásmérő adatai önmagukban mutatják. S mindebből valami rendkívül elegáns dolog következik.

*A vörösfenyő meséjé*ben találkozunk majd a dendrokronológiának nevezett elmés kormeghatározási módszerrel. A fák évgyűrűi abból fakadnak, hogy a fáknak éven-

kénti növekedési időszakuk van, s mivel nem minden év egyformán kedvező, vastag és vékony gyűrűk jelzésértékű mintázata alakul ki. Az ilyen ujjlenyomatok, amikor alkalmanként felbukkannak, a természet ajándékai a tudomány számára, amelyeket mohón meg kell ragadnunk, bármikor is találkozunk velük. Rendkívül szerencsés körülmény, hogy bár nagyobb időskálán, valami évgyűrűszerűség nyomtatódik bele a vulkanikus lávába is lehűlése és megszilárdulása közben. A következőről van szó. Míg a láva folyékony, a benne lévő molekulák parányi iránytűként viselkednek, és a Föld mágneses tere mentén sorakoznak föl. Amikor a láva megkövül, az iránytűk az aktuális irányba dermednek. A vulkanikus kőzet ezért gyenge mágnesként viselkedik, amelynek polaritása megkövült nyoma a Föld mágneses mezejének a megszilárdulás pillanatában. Ez a könnyedén megmérhető polaritás megadja a mágneses Északi-sark irányát a kőzet megszilárdulásának pillanatában.

És most jön a szerencsés körülmény. A Föld mágneses mezejének polaritása szabálytalan, bár tíz- és százezres beosztású geológiai mércével mérve eléggé gyakori időközönként helyet cserél. Máris belátjuk ennek izgalmas következményeit. Amint a két futószalag a Közép-Atlanti-töréstől keletre és nyugatra szétterül, mért mágneses polaritásuk sávokban jelentkezik, amelyek a Föld mágneses mezejének a megkövülés pillanatában mutatott mintázatát tükrözik. A nyugati oldal sávjainak mintázata pontosan a keleti oldalét tükrözi, mivel mindkét kőzetállományra ugyanaz a mágneses tér hatott, amikor folyadékként kilöködtek az óceán közepén húzódó törésből. Pontosan össze lehet párosítani a törés keleti oldalának vonalait a nyugati oldal sávjaival, és két vonal kora meghatározható (természetesen ugyanolyan idősek, hiszen folyékony halmazállapotúak voltak, amikor egyszerre kiköpődtek a hasadékból). Ugyanaz a sávmintázat található az összes többi szétcsúszó óceánfenékzóna mindkét oldalán, bár a tükrözött sávok távolsága változik, hiszen nem minden futószalag halad azonos sebességgel. Ennél meggyőzőbb bizonyítékot nem is kérhetnénk.

Akadnak azonban bonyodalmak. A párhuzamos csíkok mintázata nem sima, töretlen formában kígyózik végig a tengerfenéken. Számos törés – „vetődés" – adódik rajtuk. Traktorozásunkhoz szándékosan választottam a déli szélesség tizedik fokát, mert itt utunkat történetesen nem bonyolítják vetődések. Más szélességi fokon a fokozatosan változó korokból álló sorozatunkat alkalmanként megbicsaklások szakítanák meg, amint átszelnénk egy-egy törésvonalat. Ám a párhuzamos izochronok általános képe teljesen egyértelmű az egész atlanti-óceáni fenék geológiai térképéből.

A lemeztektonika tengerfenék-terjeszkedési elméletének bizonyítéka eszerint rendkívül szilárd, és a különböző tektonikus események kormeghatározása, mint például az egyes kontinensek szétválásáé, geológiai mércével mérve pontos. A lemeztektonika forradalma az egyik leggyorsabbnak, ugyanakkor az egyik legdöntőbbnek számít a tudomány egész történetében.

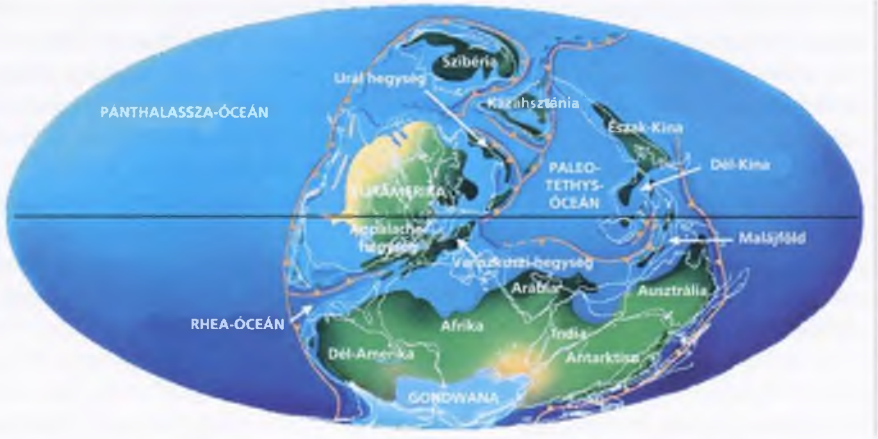
17. TALÁLKOZÁS ■ KÉTÉLTŰEK

17

Háromszáznegyvenmillió évvel ezelőtt, az alsó karbon időszakban, csupán 30 millió évnyire a 16. találkozás nagy mérföldkövétől, mi, Amnioták (magzatburkosok, az emlősök, hüllők és a madarak közös neve) a 17. találkozáson futunk össze kétéltű unkatestvéreinkkel. A földgömb-rekonstrukció mutatja, megközelítőleg milyen is volt a világ akkoriban. A Pangea már nem tartozott össze, és a Paleotethys-óceánt északi és déli földmasszívumok övezték. A Déli-sarkon jégsapkaképződés indult meg, az Egyenlítő mentén pedig korpafűerdők húzódtak. Az éghajlat nagyjából a maihoz hasonlíthatott, bár az állat- és növényvilág természetesen igencsak más volt.

A 17. köz-ős, körülbelül a 175 milliomodik ősszülőnk és valamennyi ma élő Tetrapoda őse volt. A Tetrapoda négylábút jelent. Minket, akik nem négy lábon járunk, azaz hitehagyott négylábúakat – mi nemrégiben, a madarak jóval korábban tértek ki hitükből – ugyancsak négylábúnak hívnak. Pontosabban, a 17. köz-ős a szárazföldi gerincesek hatalmas sokaságának volt ősszülője. Az utólagos okoskodást illető korábbi szigorú bírálatom ellenére a halak kiemelkedése a vízből kulcsfontosságú átmenetet jelentett evolúciótörténetünkben.

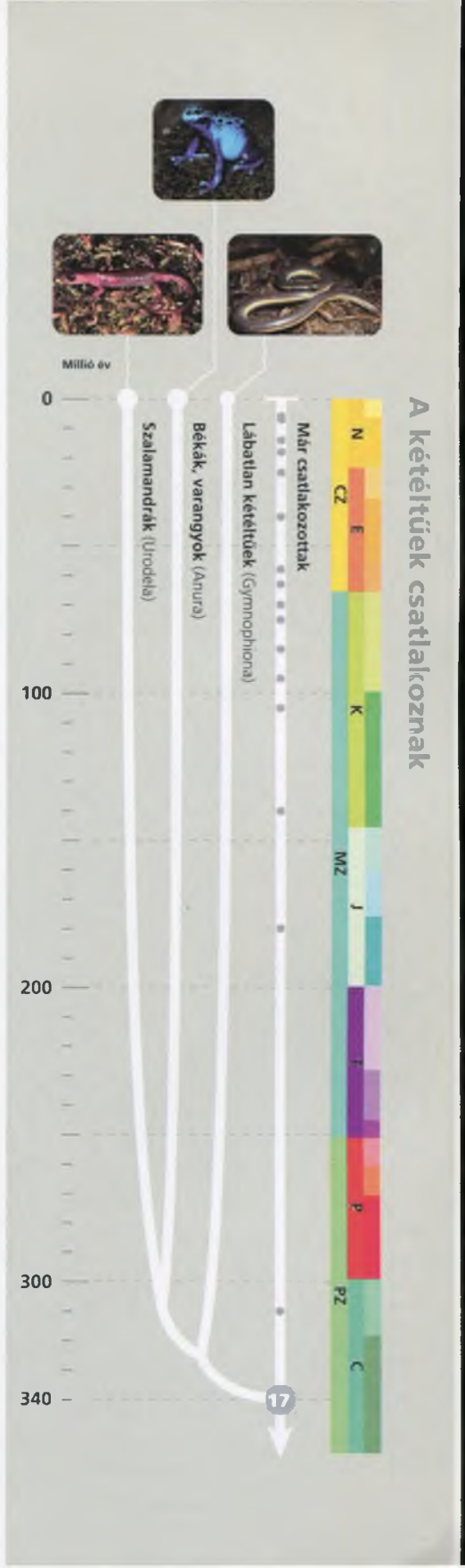
A mai kétéltű zarándokok három fő csoportja már jóval „azelőtt" egyesítette erőit, hogy találkoztak velünk, magzatburkosokkal. Ők a békák (és a varangyok; mely különbségtétel zoológiailag nem túl szerencsés), a szalamandrák (és a gőték,



A Föld az alsó karbon időszakban, körülbelül 356 millió évvel ezelőtt [257]. A Gondwana őskontinens a Déli-sark körül helyezkedett el, míg Euramerika (olykor Laurussiaként is emlegetik) közeledett felé, végül bezárva a köztük lévő tengert, amely azok közé az összeütközések közé illeszkedik, amelyek révén kialakult Pangea. Ezek a tektonikus események hegyképződési időszakhoz vezettek (orogenezis), melynek révén létrejött az Appalache- és a Variszkuszi-hegység. A Déli-sarkon jégsapka kezdett kialakulni, amely az egész karbonban növekedett. Eközben a magasabb délkörökön fekvő szárazföldeken meleg éghajlat uralkodott, buja vegetációval, amelyből pusztulását követően széntelepek alakultak ki.

A KÉTÉLTŰEK CSATLAKOZNAK
Számos fosszilis tanulmánnyal szemben a genetikai vizsgálatok a mintegy 5000, kétéltűnek nevezett fajt következetesen egyetlen csoportba sorolják, mint a magzatburkosok testvéreit. Itt a molekuláris taxonómiát követjük, bár a három kétéltűcsoport közötti elágazások sorrendjét illetően nincs egyetértés.

KÉPEK BALRÓL JOBBRA:
Eschscholz-szalamandra *(Ensatina eschscholtzii eschscholtzii);* kék méregbéka *(Dendrobates azureus);* féreggőte *(Ichthyophis-fajok)*



vagyis azok a fajok, amelyek szaporodni visszatérnek a vízbe), valamint a lábatlan kétéltűek (nyálkás, lábatlan talaj- vagy vízlakók, akik felületesen hasonlítanak a földigilisztákra vagy a kígyókra). A békáknak felnőttként nincs farkuk, de lárvakorukban fürge farkúszóval bírnak. A szalamandráknak felnőttként és lárvaállapotban is hosszú farkuk van, testarányaik pedig a kövületekből ítélve a leginkább hasonlítanak az ősi kétéltűekére. A lábatlan kétéltűeknek nincsenek végtagjaik, sőt még az őseik végtagjait tartó váll- és medenceöv belső nyomát sem találjuk meg náluk. A lábatlanok hosszú testét az teszi lehetővé, hogy a törzstáj gerinccsigolyái megsokasodtak (a békáknál található 12 helyett 250-re), csakúgy, mint a bordák, amelyek hasznos támaszt és védelmet jelentenek. A farok furcsa mód igen rövid, vagy teljesen hiányzik: ha a lábatlanoknak lennének lábaik, akkor hátsó lábaik a test hátsó csücskén ülnének, ahol néhány kihalt kétéltű valóban viselte is őket.

Bár felnőttként a szárazföldön élnek, számos kétéltű a vízben szaporodik, míg a magzatburkosok (néhány másodlagosan kialakult esettől eltekintve, mint a bálnák, a dugongok és az ichthyosaurusok) a szárazföldön. A magzatburkosok vagy elevenszülők, vagyis élő utódoknak adnak életet, vagy viszonylag nagy, szívós, vízhatlan tojásokat raknak. Az embrió mindkét esetben saját „magánmedencéjében" úszik. A kétéltű embriók sokkal inkább úsznak valódi medencében, vagy valami ahhoz hasonlóban. A 17. találkozáson hozzánk csatlakozó kétéltű zarándokok ugyan idejük egy részét a szárazföldön töltik, de ritkán távolodnak el a víztől, és legalábbis életciklusuk egy részében általában vissza is térnek oda. Azok, akik szárazföldön szaporodnak, mindent megtesznek azért, hogy valahogy vizes környezetbe jussanak.

A fák viszonylag biztos kikötőt nyújtanak, s a békák kimódolták, hogy anélkül szaporodjanak a fákon, hogy elveszítsék az életbe vágó kapcsolatot a vízzel. Némelyikük azo-



kat a kis esővíztavacskákat hasznosítja, amelyek a bromeliafélék rozettáiban képződnek. Az afrikai szürke fabéka, a *Chiromantis xerampelina* hímjei úgy működnek együtt, hogy a nőstények által kiválasztott folyadékból hátsó lábaikkal sűrű, fehér habot vernek föl. Ennek a habnak a külseje kéreggé szilárdul, nedvesen tartva a belső részt, amely a petekupac fészkéül szolgál. Az ebihalak a belső, nedves habfészekben, fenn a fán fejlődnek. Amikor a következő esős évszakban elérkezik az idejük, kiszabadulnak, és belepottyannak a fa alatti pocsolyákba, ahol békákká fejlődnek. Más fajok is alkalmazzák a habfészektechnikát, de nem működnek együtt. Ehelyett egyetlen hím veri fel a habot egy nőstény váladékából.

Némely békafajok érdekes átmeneti lépéseket tettek a valódi elevenszülés irányába. A dél-amerikai erszényesbéka nőstényei (a *Gastrotheca* nem különböző fajai) megtermékenyített petéiket a hátukra helyezik, ahol egy, a petéket betakaró bőrréteg fejlődik. Ott fejlődnek ki, és tisztán láthatók az anyjuk hátbőre alatt vonagló ebihalak, míg aztán végül ki nem törnek onnét. Megint csak több más faj is gyakorol hasonló, vélhetően függetlenül kialakult eljárást.

Egy másik dél-amerikai békafaj – amelyet illusztris felfedezője után *Rhinoderma darwinii*nak neveztek el – gyakorolja az elevenszülés legszokatlanabb formáját. A hím látszólag felfalja az általa megtermékenyített petéket, ám azok nem jutnak le a torkán. Sok hím békához hasonlóan neki is van egy tágas hangzacskója, ami a hang felerősítésére szolgáló rezonátorként működik, és a peték ebbe a nedves kamrába fészkelnek be. Itt fejlődnek ki, míg végül a hím teljesen kifejlett kisbékaként kihányja őket, amik így lemondanak az ebihalként történő szabad úszkálásról.

A fő különbség a kétéltűek és a magzatburkosok között az, hogy a magzatburkosok bőre és tojáshéja vízhatlan. A kétéltűek bőre általában hagyja, hogy a víz átpárologjon rajta, mégpedig ugyanolyan mértékben, mint amit elvárnánk egy ugyanakkora felületű állóvíztől. Ami a bőr alatti víz szempontjából olyan, mintha nem is lenne ott a bőr. Márpedig ez igencsak eltér a hüllőktől, madaraktól és emlősöktől, ahol a bőr egyik legnagyobb szerepe éppen az, hogy a víz útjába álljon. Akadnak kivételek a kétéltűek között – a legnevezetesebbek az ausztráliai sivatagi békafajok. Ezek kihasználják azt, hogy még a sivatagban is lehetnek áradások, habár rövid ideig tartók, és korlátozott területre kiterjedők. A heves esőzések e ritka és rövidke időszakában minden béka készít egy vízzel töltött gubót, amelybe két évre, sőt egyes beszámolók szerint akár hétéves időszakra is bezárkózik egyfajta szendergő állapotban. Néhány békafaj kiállja a víz normál fagyáspontjánál jóval alacsonyabb hőmérsékletet is úgy, hogy glicerint állít elő fagyásgátlóként.

A tengerben nem élnek kétéltűek, s így nem meglepő, hogy a gyíkokkal ellentétben ritkán fordulnak elő távoli szigeteken.* Darwin nem egy könyvében tesz erről említést, megemlítve azt is, hogy azok a békák, amelyeket mesterségesen vittek be egy ilyen szigetre, boldogultak ott. Feltevése szerint a gyíktojásokat kemény héjuk megvédi a tengervíztől, míg a békaporontyokat a tengervíz azonnal megöli. A békák azonban az Antarktisz kivételével valamennyi kontinensen megtalálhatók, és feltehetően a kontinensek feldarabolódását megelőző idők óta folyamatosan ott is vannak. A békák csoportja nagyon sikeres.

A békák egy vonatkozásban a madarakra emlékeztetnek. Mindkettőjük testfelépítése olyan, amely némiképp bizarr módosulása az ősi testalkatnak. Ez önmagában nem túl figyelemre méltó, de a madarak és a békák fogták ezt a bizarr testformát, és

17. köz-ős
Ez a köz-ős meglehetősen hasonlított a szalamandrákra, bár feltehetően valamennyi végtagján öt ujja volt. A legtöbb mai kétéltűhöz hasonlóan bizonyára nedves helyek közelében élhetett. A háttérben az alsó kréta kor mocsári erdeinek jellegzetes növényeit, korpafüveket, zsurlókat és páfrányfákat látunk.

* Sam Turvey elmondása szerint a két legtávolabbi szigetlakó békafaj, a Fidzsi-szigeteken élő *Platymantis vitiensis* és a *P. vitianus* (közeli rokonok, s feltehetően egy gyarmatosító ős leszármazottai), teljesen a petében fejlődnek ki, kihagyva a szabadúszó ebihal állapotot. Ezek sokkal sótűrőbbnek tűnnek a legtöbb békánál, sőt a *P. vitianus* olykor a tengerpartokon is előfordul. Ezek a szokatlan vonások, ha jelen voltak gyarmatosító ősükben (ami valószínű), bizonyára előkészítették őket a szigetugrásra.

egész sor új változatot építettek rá. Nincs annyi békafaj, mint madárfaj, de a világ minden részében előforduló 4000 békafaj is éppen eléggé tekintélyes szám. Miként a madártest nyilvánvalóan a repülésre van tervezve, úgy egy felnőtt béka testalkata is leginkább egy erősen specializált ugrógépként értelmezhető. Némely faj meghökkentően messzire képes ugrani, ami 50 testhossz a találóan elnevezett ausztráliai rakétabéka *(Litoria nasuta)* esetében. A világ legnagyobb békájáról, a nyugat-afrikai góliátbékáról *(Conraua goliath)*, amely kisebb kutya nagyságú, úgy hírlik, hogy három méterre ugrik. Nem minden béka ugrik, de mindegyik ugró ősöktől származik. Legalábbis hitehagyott ugrók, ahogy a struccok is hitehagyott repülők. Némely fán élő faj, mint például a Wallace-repülőbéka, a *Rhacophorus nigropalmatus* úgy nyújtja meg az ugrását, hogy kiterjeszti hosszú ujjait, amelyeknek hártyája siklóernyőként működik. Valóban siklanak egy kicsit, mint a repülőmókusok.

A szalamandrák és gőték, ha egyszer vízbe jutottak, úgy úsznak, mint a halak. Lábaik a szárazföldön túl kicsik és gyengék ahhoz, hogy járjanak vagy fussanak velük abban az értelemben, ahogy mi gondoljuk. A szalamandra pedig szinuszos úszómozgással halad, mint a halak, amelyre a lábak csak rásegítenek. A legtöbb mai szalamandra meglehetősen kicsi. A legnagyobb eléri a tekintélyes másfél métert, de még ez is jóval kisebb, mint a régmúlt idők óriás kétéltűi, amelyek a hüllők felemelkedése előtt uralták a szárazföldet.

De hogyan is festett a 17. köz-ős – az, amelyen a kétéltűekkel és a hüllőkkel mi magunk is osztozunk? Nyilván inkább hasonlított egy kétéltűre, mint egy magzatburkosra, és inkább egy szalamandrára, mint egy békára – de talán egyikre sem hasonlított túlzottan. A legjobb kövületek Grönlandról kerültek elő, amely a devon időszakban az Egyenlítő mentén feküdt. Ezeket a lehetséges átmeneti kövületeket sokat tanulmányozták, köztük az *Acanthostegá*t, amely teljesen vízinek tűnik, és az *Ichthyostegá*t.*



A 17. köz-ős bizonyára olyan lehetett, mint az *Ichthyostega* vagy az *Acanthostega*, bár mindketten nagyobbak voltak annál, mint amit őszülőinktől elvárnánk. Akad egyéb meglepetés is a mai állatokhoz szokott zoológusok számára. Hajlunk arra, hogy az ötujjúságot mélyen a négylábúak végtagjaiba ivódott tulajdonságnak gondoljuk – az ötujjú négylábú képezete klasszikus zoológiai totem. Mégis, a legutóbbi bizonyítékok arra utalnak, hogy az *Ichthyostega* hétujjú, míg az *Acanthostega* nyolcujjú volt, a devoni négylábúak egy másik nemének, a *Tulerpeton*nak pedig hat ujja volt. Kísértést érzünk, hogy azt mondjuk: az ujjak száma nem számít, mivel funkcionálisan közömbös. Kétlem. Tapogatódzó sejtésem szerint azokban a korai időkben a különböző fajoknak valódi haszna származott lábujjaik tényleges számából. Valóban hatékonyabbak voltak – akár úsztak, akár mentek velük, mint más szám mellett lettek volna. Később a négylábúak végtagjai öt ujjban állapodtak meg, talán azért, mert valami belső embriológiai folyamat kez-

* Az utóbbi években főként dr. Jennifer Clark és munkatársai a Cambridge Egyetemen. Lásd könyvét: *Gaining Ground: The Origin and Evolution of Tetrapods* (Térnyerés: A négylábúak eredete és evolúciója).

Talán teljesen vízben élt Egy korai négylábú, az *Acanthostega* rekonstrukciója. Janny Clark szerint az *Acanthostega* teljesen vízben élt, ami arra utal, hogy a „lábak" eredetileg a vízben, s nem a szárazföldön való mozgásra alakultak ki.

dett múlni ezen a számon. Felnőttként ez a szám gyakran lecsökkent az embriológiaihoz képest – szélsőséges esetben, mint a mai lovaknál egyre: a középső ujjra.

A kétéltűek a halak izmosúszójú halakként ismert csoportjából alakultak ki. Az izmosúszójú halak közül csupán a tüdős hal és a bojtosúszós hal* maradt fönn, s velük a 18. és a 19. találkozáson ismerkedünk meg. A devonban az izmosúszójú halak jóval jelentősebb szerepet játszottak mind a tengeri, mind az édesvízi faunában. A négylábúak talán egy különben kihalt izmosúszójú halcsoportból, az Osteolepimorphának nevezett halakból alakultak ki. Ebbe a csoportba tartozik az *Eusthenopteron* és a *Panderichthys,* mindkettő a felső devon korból, körülbelül abból a korból, amikor az első négylábúak kezdtek feltűnni a szárazföldön.

Vajon miért fejlesztettek ki a halak olyan változásokat, amelyek lehetővé tették, hogy a vízből kiköltözzenek a szárazföldre? Például tüdőt? És olyan úszókat, amelyeken inkább járni lehetett, mint úszni, vagy mindkettőt egyszerre? Nem azért történt, hogy megpróbálják elindítani az evolúció következő nagy fejezetét! Erre a kérdésre évekig az volt a kedvelt válasz, amit a kiváló amerikai paleontológus, Alfred Sherwood Romer szűrt le a geológus, Joseph Barrell nézeteiből. Elgondolása szerint, ha ezek a halak egyáltalán valamivel próbálkoztak, az nem volt más, mint hogy visszajussanak a vízbe. Aszály idején könnyen egy kiszáradó pocsolya kátyújába kerülhetnek. Azok az egyedek, amelyek tudnak járni, és levegőt belélegezni, azzal a roppant előnnyel rendelkeznek, hogy elhagyhatták a halálra ítélt kiszáradó pocsolyát, és elindulhattak, hogy másutt mélyebbet keressenek.

Ez a bámulatos elmélet divatjamúlttá vált, de szerintem nem egészen megalapozott okokból. Sajnos Romer osztotta korának uralkodó vélekedését arról, hogy a devon száraz időszak volt, mely nézetet legújabban megkérdőjeleznek. De nem hiszem, hogy Romer elmélete megkövetelné, hogy a devon száraz időszak legyen. Még a nem kifejezetten aszályos időszakokban is mindig lesznek olyan tavacskák, amelyek túl sekélyekké válnak bizonyos halak számára. Ha a súlyos aszály kiszáradással veszélyezteti az egy méter mély tavacskákat, akkor az egy méter mélyeket egy enyhébb aszály is veszélybe sodorja. Ez elegendő Romer elméletéhez, miszerint vannak olyan tavacskák, amelyek kiszáradnak, s így olyan halak is, amelyek megmenthetik az életüket az elvándorlással. Még ha a felső devonban elegendő volt is a víz, akkor is mondhatjuk azt, hogy ez pusztán a kiszáradásra esélyes tavacskák számát, s ezáltal annak lehetőségét növelte, hogy a járkáló halak megmentsék az életüket, no és a Romer-elméletet. Mindazonáltal kötelességem leszögezni, hogy az elmélet manapság divatjamúlt. Egy további tény is ellentmond az elméletnek, miszerint azok a mai halak, amelyek kimerészkednek a szárazföldre, ezt nedves, csapadékos helyeken teszik – vagyis amikor a szárazföldi feltételek „jók" a vízi állatoknak, s nem rosszak, mint a Romer-elméletben.

És ami azt illeti, számos egyéb jó okból is kijöhet egy hal ideiglenesen vagy huzamosan a szárazföldre. A folyók vagy tavak nem csupán a kiszáradás miatt válhatnak használhatatlanná. Megfojthatja őket a hínár, amikor egy olyan hal, amely át tud vándorolni a mélyebb vízbe, megint csak jól járhat. Ha – miként azt Romerrel *szemben* felvetették – nem devoni aszályról, hanem devoni mocsarakról van szó, a mocsarak számos alkalmat kínálnak arra, hogy egy hal jól járjon azzal, ha át tud menni, vagy csúszni, vagy vergődni, vagy más módon haladni a mocsári növényzeten, hogy mély vizet – netán élelmet – találjon. Ez megmenti Romer elméletének

* Az izmosúszójú hal elnevezés körül nincs egyetértés. Néhány szerző a tüdős halakat nem sorolja ide, s azt állítja, hogy a bojtosúszós hal az egyetlen fennmaradt izmosúszójú hal. Én Robert Carroll professzor *Vertebrate Palaeonthology and Evolution* (A gerincesek palaontológiája és evolúciója) című könyvét követve a tüdős halakat és a bojtosúszós halat is idesorolom.

lényegét, miszerint őseink először is nem a szárazföld elfoglalása miatt hagyták el a vizet, hanem hogy visszatérjenek a vízbe.

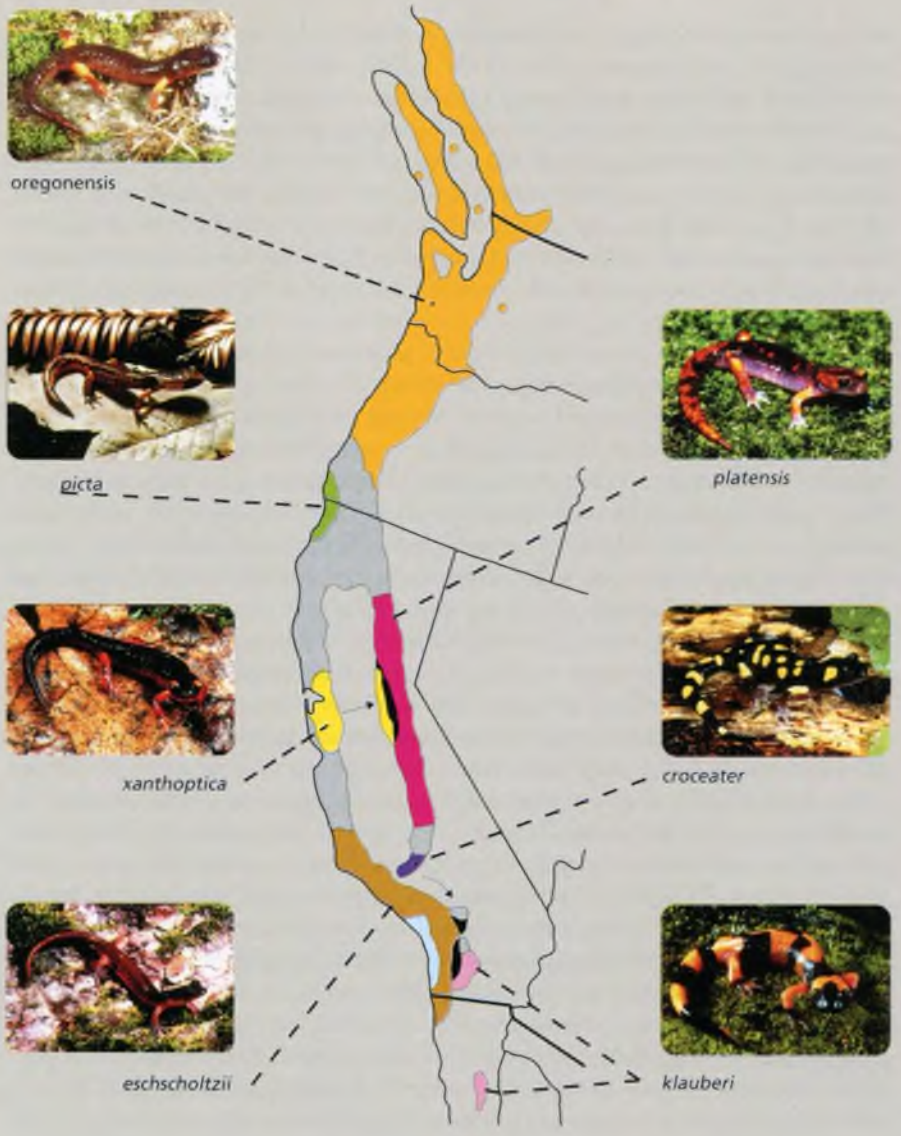
Az izmosúszójú halaknak az a csoportja, amelyből a négylábúak kialakultak, mára mindössze négy szánalmas nemre csökkent, pedig hajdan csaknem úgy uralták a tengereket, mint ma a csontos halak. A 20. találkozásig várnunk kell, hogy találkozzunk a csontos halakkal, de segítik okfejtésünket, mivel némelyikük levegőt lélegzik be, legalább is alkalmanként, és egynéhány még a vízből is kijön, és járkál a szárazföldön. Zarándoklatunk során egy kicsit később hallunk majd egyikükről, a kúszógébről, amelynek meséje egy önálló, újabb szárazföldi benyomulásról szól.

A SZALAMANDRA MESÉJE

A nevek az evolúciótörténet átkai. Nem titok, hogy a paleontológia ellentmondásos tárgy, amelyet még némi személyes ellenségeskedés is fűszerez. Legalább nyolc könyv jelent meg *Bones of Contention* (Erisz almája – avagy Civakodó csontok) címen. Ha megnézzük, miről vitázik két paleontológus, kiderül, hogy legalább annyiszor a neveken, mint ahányszor nem. Ez a fosszília *Homo erectus* vagy ősi *Homo sapiens?* Vajon a másik korai *Homo habilis* vagy kései *Australopithecus?* Az emberek nyilván érzelmileg erőteljesen viszonyulnak az ilyen kérdésekhez, amelyek gyakran szőrszálhasogatásnak bizonyulnak. Valóban hasonlítanak a teológiai kérdésekhez, ami megmagyarázza, miért váltanak ki oly szenvedélyes viszálykodást. A külön nevektől való megszállottságot nevezem én a szakaszos elme zsarnokságának. A szalamandra meséje a szakaszos elmére mér csapást.

A Középső-völgy, amit nyugatról a Parti-hegység, keletről a Sierra Nevada határol, csaknem egész Kalifornián végigfut. Ezek az északon és délen találkozó, hosszú hegységek zárják le a völgyet, amit következésképpen magasföldek övezneк. E magasföldeken mindenütt megtalálható az egyik szalamandranem, az *Ensatina*. A kb. hatvan kilométer széles Középső-völgy nem kedvező a szalamandrák számára, így ott nem élnek. Egy ellipszis alakban elnyúló, többé-kevésbé összefüggő populáción belül a völgy körül mozoghatnak, de rajta keresztül normál esetben nem. A gyakorlatban a szalamandrákat rövid lábaik rövid életidejük során nem viszik messzire szülőhelyüktől, de a hosszabb ideig fennmaradó gének már más lapra tartoznak. Az egyes szalamandrák párosodhatnak a szomszédokkal, amelyeknek szülei párosodhattak a gyűrűn távolabbi szomszédokkal, és így tovább végig a gyűrűn. Így elvileg génáramlással számolhatunk körös-körül a gyűrűn. Elvileg. Ám hogy mi történik a gyakorlatban, azt a berkeleyi Kalifornia Egyetemen dolgozó jó öreg kollégáim kutatásai mutatták ki elegánsan, melyeket Robert Stebbins kezdett el és David Wake folytatott.

A völgytől délre fekvő hegyekben lévő területen, amit Camp Wolahinak neveznek, két, egyértelműen elkülöníthető *Ensatina*-faj él, amelyek nem párosodnak egymással. Az egyiket jellegzetes sárga-fekete foltok tarkítják, a másik egyenletesen világosbarna, foltok nincsenek rajta. Camp Wolahi átfedési zónában fekszik, de egy szélesebb mintavétel szerint a foltos faj a völgy keleti oldalára jellemző, amelyet itt, Dél-Kaliforniában San Joaquin-völgyként (*ejtsd:* San Wahkeen [uokín]) ismernek.



A világosbarna faj ezzel szemben jellemzően a San Joaquin-völgy nyugati oldalán fordul elő.

Annak, hogy két populáció külön fajnevet érdemeljen, az egymással való nemszaporodás az elfogadott követelménye. Esetünkben tehát egyértelműen használható az *Ensatina eschscholtzii* név az egyszínű nyugati fajra, és az *Ensatina klauberi* a foltos keleti fajra – egyértelműen, egyetlen figyelemre méltó körülménytől eltekintve, s éppen ez a mese veleje.

A SZAKASZOS ELMÉRE MÉR CSAPÁST
Ensatina-populációk a Középső-völgy körül Kaliforniában. A vonalkázott területek az átmeneti övezeteket jelzik. A térkép Stebbins 2003 nyomán.

Ha az ember felmegy a Középső-völgynek itt Sacramento-völgynek nevezett északi végét övező hegyekbe, csak egy *Ensatina*-fajt talál. Külseje átmenetet képvisel a foltos és az egyszínű fajok között: főként barna, meglehetősen elmosódó foltokkal. Mégsem az előző kettő keveréke: a dolog ekként történő vizsgálata téves. Hogy megtudjuk, mi a helyes, tegyünk két kirándulást délre, s vegyünk mintát abból a szalamandrapopulációból, amelyik a Középső-völgy két oldalán folytatódó elágazásban található. A keleti oldalon egyre foltosabbá válnak, míg el nem érik a *klauberi* szélsőséges foltosságát a legtávolabbi délen. A nyugati oldalon a szalamandrák egyre inkább arra az egyszínű *eschscholtzii*ra ütnek, amelyikkel a Camp Wolahi-i átmeneti zónában találkoztunk.

Emiatt nehéz az *Ensatina eschscholtzii*t és az *Ensatina klauberi*t jó lelkiismerettel külön fajokként kezelni. Esetükben „gyűrű-fajokról" van szó. Csak akkor látjuk őket külön fajoknak, ha délen vesszük a mintát. Viszont minél északabbra haladunk, annál inkább egymásba fordulnak. A zoológusok rendszerint követik Stebbins példáját, és valamennyit egy fajba, az *Ensatina eschscholtzii*ba sorolják, de egy sor alfajnévvel illetik őket. Az egyszínű barna *Ensatina eschscholtzii*val indulva délről, a nyugati oldalon északi irányban az *Ensatina eschscholtzii xanthoptica*val és az *Ensatina eschscholtzii oregonensis*szel találkozunk, mely utóbbi, mint a neve is mutatja, a távolabbi északi Oregonban és Washingtonban is megtalálható. A kaliforniai Középső-völgy északi szegletében a korábban említett, félig foltos *Ensatina eschscholtzii picta* honos. Megfordulva és lefelé tartva a gyűrűn a völgy keleti oldalán, az *Ensatina eschscholtzii platensis* következik, amely egy kissé foltosabb, mint a *picta*, majd az *Ensatina eschscholtzii croceater*, míg el nem érjük az *Ensatina eschscholtzii klauberi*t (ugyanazt, amelyet korábban *Ensatina klauberi*nek neveztünk, amikor külön fajként kezeltük).

Stebbins úgy véli, hogy az *Ensatina* ősei észak felől érkeztek a Középső-völgybe, és fokozatosan módosultak déli irányban, s váltak szét, ahogy előrehaladtak a völgy két oldalán. A másik lehetőség az, hogy délről indultak, mint *Ensatina eschscholtzii eschscholtzii*, majd fölfelé haladva változtak a völgy nyugati oldalán egész fentig, majd lefelé a másik oldalon, míg *Ensatina eschscholtzii klauberi*ként el nem értek a gyűrű túlsó végére. Bárhogy is történt, ma Kalifornia legdélibb részének kivételével, ahol a szálak találkoznak, keveredés zajlik a gyűrű teljes kerületén.

Zavaró tényező, hogy a Középső-völgy láthatólag nem jelent teljes akadályt a génáramlás előtt. Úgy tűnik, a szalamandrák alkalmanként átkeltek rajta, mert például a völgy keleti oldalán is felbukkan az egyik nyugati alfaj, a *xanthopia*, ahol keveredik a másik keleti alfajjal, a *platensis*szel. Újabb bonyodalmat jelent, hogy a gyűrű déli oldalán egy kis hézag található, ahol láthatólag egyáltalán nem élnek szalamandrák. Feltehetően hajdanában éltek, de kihaltak. Az is lehet, hogy ott vannak, csak még nem akadtak rájuk: mint mondják, arrafelé vadak a hegyek, és nehéz a keresés. A gyűrű bonyolult, de ebben a nemben mégis a folyamatos génáramlású gyűrű a meghatározó minta, miként az ezüstsirályok és a feketehátú sirályok sarkkör körüli közismertebb esetében is.

Britanniában az ezüstsirály és a feketehátú sirály két külön fajnak számít. Bárki meg tudja különböztetni őket, legegyszerűbben a szárnyuk színe alapján. Az ezüstsirályok szárnya ezüstszürke, a feketehátúaké sötétszürke, csaknem fekete. Ennél is fontosabb, hogy maguk a madarak is különbséget tesznek, mivel nem keverednek, noha sűrűn találkoznak, sőt vegyes kolóniákat alkotva gyakran egymás mellett is

párosodnak. A zoológusok így teljesen jogosultnak érzik hogy külön névvel – *Larus argentatus* és *Larus fuscus* – illessék őket.

És most következik az az érdekes megfigyelés, amely miatt esetük hasonlít a szalamandrákéra. Ha követjük az ezüstsirály-populációt nyugatra, Észak-Amerikába, majd körbe a világon, Szibérián át vissza Európába, különös tényre leszünk figyelmesek. Amint haladunk a sarkkör körül, „ezüstsirályaink" egyre kevésbé ezüstsirályok, mint inkább feketehátú sirályok lesznek, míg ki nem derül, hogy nyugat-európai feketehátú sirályaink valójában annak a gyűrű alakú folytonosságnak a túlsó végét képviselik, amely az ezüstsirályokkal indult. A madarak a gyűrű bármely pontján elegendő mértékben hasonlítanak közvetlen szomszédaikra ahhoz, hogy párosodjanak egymással. Egészen addig, amíg – és ez a lényeg – a folytonosság végei össze nem érnek, és a gyűrű saját farkába harap. Az ezüstsirály és a feketehátú sirály Európában soha nem párosodik, hiába fűzik össze őket körös-körül az egész világon egymással párosodó kollégák.

Az olyan gyűrű-fajok, mint a szalamandrák és a sirályok csupán térben mutatják azt, aminek időben is meg kell történnie. Tegyük fel, hogy mi emberek és a csimpánzok gyűrű-fajt alkotunk. Megtörténhetett volna: a gyűrű esetleg a Rift-völgy egyik oldalán halad fölfelé, és a másikon lefelé úgy, hogy a déli végén két teljesen külön faj él egymás mellett, míg egymással párosodó töretlen folytonosság jellemző egészen végig felfelé és lefelé is. Ha így lenne, mit jelentene ez a többi fajhoz való viszonyunkra nézve? És általában véve, a látszólagos szakaszosságra nézve?

Számos jogi és erkölcsi normánk a *Homo sapiens* és az összes többi faj elkülönítésére épül. Az abortuszt bűnnek tartó emberek közül sokan – idesorolva azt a kisebbséget is, amely nem riad vissza az orvosok megölésétől és az abortuszklinikák felrobbantásától sem – meggondolatlan húsevők, és nem okoz nekik fejfájást, hogy állatkertekben csimpánzokat börtönöznek be, és áldoznak fel laboratóriumokban. Vajon meggondolnák-e magukat, ha átmenetek eleven folytonosságát tudnánk kimutatni köztünk és a csimpánzok között, amelyeket összefüggő párosodási láncolat fúz össze, mint a kaliforniai szalamandrákat? Nyilván nem. Mégis, merő véletlen csupán, hogy a köztes formák történetesen mind elpusztultak. Csupán e véletlennek tulajdonítható, hogy kényelmesen és könnyedén hatalmas szakadékot tételezünk fel a csimpánzok és saját fajunk, sőt ha már itt tartunk, bármelyik két faj között.

Már korábban említettem a meghökkent ügyvéd esetét, aki egy előadásom után kérdést intézett hozzám. Jogi elmeélének teljes súlyával képviselte az alábbi tetszetős álláspontot. Ha A faj B fajjá fejlődik, érvelt szabatosan, lennie kell egy olyan pontnak, ahol egy gyermek az új B fajhoz tartozik, ám a szülei még a régi A fajhoz tartoznak. A különböző fajok tagjai elvileg nem párosodhatnak egymással, ám egy gyermek nem különbözhet annyira a szüleitől, hogy ne volna képes párosodni azok fajtájával. Vajon ez, csóválta meg metaforikus ujját, mint ahogy már legalábbis a tárgyalótermi drámákban az ügyvédek saját tökéletesre érlelt előadásmódjukban szokták, nem aknázza alá az evolúció egész tanát?

Olyan ez, mintha ezt mondanánk: „Amikor egy fazék vizet melegítünk, nincs egy olyan meghatározott pillanat, amikor a víz többé már nem meleg, hanem forró, ezért lehetetlen megfőzni egy csésze teát." Mivel mindig arra törekszem, hogy a kérdéseket alkotó irányba fordítsam, elmeséltem az ügyvédemnek az ezüstsirály esetét, és alighanem szöget ütött a fejébe. Ragaszkodott hozzá, hogy az egyedeket

szigorúan ebbe vagy abba a fajba kell elhelyezni. Nem engedte meg azt a lehetőséget, hogy valamely egyed esetleg félig vagy tizedrészben A vagy B fajba tartozzék. A gondolkodásnak pontosan ugyanez a korlátoltsága bénítja meg az arról folytatott végtelen vitákat, hogy pontosan mikor válik egy embrió emberré (és ebből következőleg, mikor kell az abortuszt gyilkossággal azonos értékűnek tekinteni). Nincs értelme az ilyen embereknek azt mondani, hogy attól az emberi tulajdonságtól függően, ami éppen érdekli az embert, egy magzat lehet „félig ember" vagy „századrészt ember". Az „ember" a mennyiségi beállítottságú, abszolutizáló elme számára olyan, mint a „gyémánt". Nincsenek félmegoldások. Az abszolutista elme átokká válhat. Igazi nyomorúságot, emberi nyomorúságot okozhat. Ezt nevezem én a szakaszos elme zsarnokságának, s ez késztet arra, hogy leszűrjem a szalamandra meséjének tanulságát.

Bizonyos célból pontosan a nevekre és a szakaszos kategóriákra szorulunk. Az ügyvédeknek valóban ezekre van szükségük állandóan. A gyerekeknek nem szabad vezetniük, a felnőtteknek igen. A jognak meg kell határoznia valami küszöböt, például a tizenhetedik születésnapot. Árulkodó módon a biztosítótársaságok egészen más korhatárt vesznek tekintetbe.

Némely szakaszosságok valóságosak mindenfajta mércével mérve. Az olvasó valaki, és én egy másik személy vagyok, s neveink szakaszos cédulák, amelyek pontosan jelzik elkülönültségünket. A szén-monoxid valóban különbözik a szén-dioxidtól. Nincs átfedés. Egy molekula vagy egy szén- és egy oxigénatomból, vagy egy szén- és két oxigénatomból áll. Nincs olyan, amelyik másfél oxigénatomot tartalmazna. Az egyik gáz halálos méreg, a másikra a növényeknek van szükségük, hogy belőle olyan szerves anyagot gyártsanak, amelytől valamennyien függünk. Az arany határozottan különbözik az ezüsttől. A gyémántkristályok tényleg eltérnek a grafitkristályoktól. Mindkettő szénből épül fel, ám a szénatomok természetüknél fogva két különböző módon rendeződnek el. Nincsenek átmeneti állapotok.

Ám a szakaszosságok messze nem mindig ilyen világosak. Az újságom a legutóbbi influenzajárvány idején a következő cikket közölte. Vagy járvány volt egyáltalán? A kérdés a cikkben rejlik.

> A hivatalos statisztikák szerint százezer emberből 144 szenved influenzában, közölte az egészségügyi hivatal szóvivője. A járvány szokásos mércéje százezer főre 400 megbetegedés, bár ezt a kormány nem kezeli hivatalosan járványként. Ám a szóvivő hozzáfűzte: „Donaldson professzor örömmel tart ki saját változata mellett, hogy itt bizony járványról van szó. Szerinte többről van szó, mint százezer főre 144-ről. Mindez igen zavarba ejtő, és attól függ, melyik meghatározást választjuk. Donaldson professzor ránézett a grafikonjára, és kijelentette, hogy itt súlyos járványról van szó."

Annyit tudunk, hogy bizonyos meghatározott számú ember szenved influenzában. Önmagában ez nem mondja el, amit tudni akarunk? Mégis, a szóvivő számára az a döntő kérdés, hogy ez vajon „járványnak" számít-e. A betegek száma vajon átlépte a 400:100 000-es arányt? Ez az a nagy döntés, amit Donaldson professzornak meg kell oldania grafikonja fölé hajolva. Az ember arra gondol, jobban tette volna, ha megpróbál valamit tenni ellene, akár járványnak számít hivatalosan, akár nem. A járványok esetében történetesen tényleg van egy természetes Rubicon: ez nem más, mint a fertőzésnek az a kritikus tömege, amely fölött a baktérium vagy

vírus hirtelen „fellendül" és drámaian megnöveli terjedési sebességét. Ezért próbálják a közegészségügyi tisztviselők oly elszántan beoltani a népesség küszöbérték fölötti részét, mondjuk szamárköhögés ellen. A cél nem csupán a beoltott egyének védelme, hanem az is, hogy megfosszák a kórokozókat annak lehetőségétől, hogy elérjék „fellendülésükhöz" szükséges kritikus tömeget. Influenzajárványunk esetében igazából annak kellene aggasztania az egészségügyi minisztérium szóvivőjét, hogy vajon a vírus átlépte-e már a „nekilendülési" Rubicont, és beugrott-e hirtelen a lakosság közötti terjedés magas sebességfokozatába. Márpedig ezt nem a 400 a 100 000-hez hasonló mágikus számok segítségével kell eldönteni. A mágikus számokkal való törődés a szakaszos vagy mennyiségi elme jele. Az a mulatságos, hogy ez esetben a szakaszos elme átsiklik egy valódi szakaszhatáron: járvány nekilendülési pontján. Általában nincs valódi szakaszhatár, ami fölött át lehetne siklanunk.

Manapság sok nyugati ország szenved az elhízottságnak nevezett járványtól. Úgy tűnik, magam körül mindenütt láthatók ennek jelei, mégsem nyűgöz le az, amikor előszeretettel fordítják le a számok nyelvére. A lakosság bizonyos százalékát „klinikailag elhízottnak" nyilvánítják. A szakaszos elme itt is kitart amellett, hogy az embereket a vonal egyik oldalán a kövérek, míg másik oldalán a nem kövérek táborába sorolja. A valódi élet nem így működik. A kövérség folyamatosan oszlik meg. Megmérhetjük, mennyire elhízott minden egyén, majd csoportstatisztikákat készíthetünk ezekből a mérésekből. Ha megszámoljuk, hogy hányan esnek valami önkényesen megállapított kövérségi küszöbérték fölé, az nem világít meg semmit, már csak azért sem, mert az ilyen számolások azonnali igényt támasztanak a küszöbérték megállapítására, sőt esetleg újraértékelésére.

Ugyanez a szakaszos elme lapul meg a „szegénységi küszöb alatt" élők hivatalos számadatai mögött is. Az ember sokatmondóan kifejezheti egy család szegénységét, ha megmondja bevételeit, s azt lehetőleg ahhoz viszonyítja, ténylegesen mi vásárolható rajta. Azt is mondhatjuk, hogy „X szegény, mint a templom egere", vagy „Y egy krőzus", s mindenki tudja, mire gondolunk. Ártalmasak viszont az azokkal kapcsolatos álságosan pontos számadatok vagy arányszámok, akik állítólag fölötte vagy alatta vannak valami önkényesen megállapított szegénységi küszöbnek. Azért ártalmasak, mert az arányszámmal járó pontosságot azonnal meghazudtolja a „küszöb" értelmetlen mesterkéltsége. A küszöbök a szakaszos elme szédelgései. Politikailag még érzékenyebb a „fekete" és „fehér" címkék szembeállítása a modern – különösen az amerikai – társadalomban. Ez *A sáska meséjé*nek központi témája, úgyhogy hagyom is most, de annyit még hadd mondjak, hogy szerintem a rassz is azon számos eset közé tartozik, ahol nincs szükségünk szakaszos kategóriákra, és hacsak nincs használatuk mellett rendkívül erős érv, meg kellene lennünk nélkülük.

Íme, egy újabb példa. A brit egyetemek a diplomákat három külön osztály szerint minősítik: első, másod- és harmadosztályt különböztetve meg. Más országok egyetemei is hasonlókképp járnak el, más megnevezés, mondjuk A, B és C alatt. Nos, a következőt gondolom. A diákok nem igazán különülnek el takarosan jóra, közepesre és gyengére. A képességnek vagy a szorgalomnak nincsenek elkülönült és határozott osztályai. A vizsgáztatók azon fáradoznak, hogy a hallgatókat egy árnyaltan folytonos számskála segítségével értékeljék, amikor olyan osztályzatokat vagy pontokat adnak, amelyeket hozzárendelnek valamilyen osztályzathoz, vagy

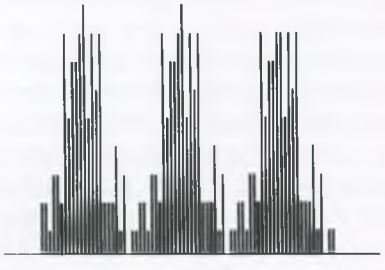
más, matematikailag folytonos módon járnak el. Az ilyen folytonos számskálán szerzett pontszám sokkal több információt árul el, mint a besorolás a három osztály valamelyikébe. Mégis csak a szakaszos kategóriákat teszik közzé.

Ha igen sok diákról veszünk mintát a képességeik és szorgalmuk megoszlását keresve, akkor normál esetben egy haranggörbét kapunk, amely azt jelzi, hogy néhányan nagyon jól, néhányan nagyon rosszul és sokan a kettő között teljesítenek. Esetleg nem kapunk olyan szimmetrikus harangot, mint az ábrán látható, de az biztos, hogy egyenletesen folytonos, és minél több diákot vonunk be, annál egyenletesebb lesz.



Néhány vizsgáztató (különösen – és remélem, megbocsátanak, amiért ezt hozzáteszem – a nem természettudományos tárgyaknál) mintha tényleg hinne abban, hogy valóban létezik olyan elkülönült valami, mint első osztályú vagy „alfa" elme, amellyel egy diák kifejezetten vagy rendelkezik, vagy nem. A vizsgáztató feladata tehát, hogy elkülönítse az elsőket a másodikaktól, a másodikakat a harmadikaktól, ahogy az ember elkülöníti a birkákat a kecskéktől. Annak eshetősége, hogy sima folytonosság létezik, amelyben a tiszta birkaság az összes átmeneti fokozaton keresztül a tiszta kecskeségbe hajlik át, bizonyos elmék számára nehezen megragadható.

Igencsak elképesztő eredmény volna, ha várakozásom dacára kiderülne, hogy minél több diákot vonunk be, a vizsgaeredmények megoszlása annál inkább a háromcsúcsú, szakaszos eloszláshoz közelítene. Az első, másod- és harmadosztályú diplomaminősítés ez esetben valóban jogosult volna.



Ám erre nyilván nincs bizonyíték, s figyelembe véve mindazt, amit az emberi variációkról tudunk, ez igencsak meglepő is lenne. A dolgok jelenlegi állása nyilvánvalóan nem méltányos: jóval nagyobb a különbség egy osztályon belüli legjobb és legrosszabb között, mint az egyik osztály legrosszabbja és a másik legjobbja között. Sokkal méltányosabb lenne a ténylegesen kapott pontszámot vagy e pontszámok alapján elért helyezést közzé tenni. Ám a szakaszos vagy mennyiségi elme ragaszkodik ahhoz, hogy az embereket ebbe vagy abba a külön kategóriába gyömöszölje.

Visszatérve témánkhoz, az evolúcióhoz, vajon mi a helyzet magukkal a birkákkal és a kecskékkel? Vajon éles határvonal húzható a fajok között, vagy egymásba olvadnak, mint az első és másodosztályú teljesítmények? Ha csak a ma élő állatokat vizsgáljuk, a válasz általában igen: éles határvonalak vannak. A sirályokhoz és a kaliforniai szalamandrákhoz hasonló kivételek ritkák, ám sokatmondók, hiszen térbeli tartományra írják át azt a folytonosságot, amely normál esetben csak az időbeli tartományban található meg. Az embereket és a csimpánzokat igenis átmenetek és közös ősök összefüggő láncolata kapcsolja össze, de ezek az átmenetek kihaltak:

nem maradt más, mint az össze nem függő elkülönülés. Ugyanez igaz ez emberek és a majmok, vagy az emberek és a kenguruk esetében is, azzal a különbséggel, hogy a kihalt átmenetek régebben éltek. Mivel az átmenetek csaknem mindig kihaltak, általában elkönyveljük, hogy éles különbség van minden faj között. Ám ez a könyv az evolúciótörténettel foglalkozik, vagyis a holtakkal éppúgy, mint az élőkkel. Amikor a valaha élt valamennyi állatról beszélünk, nem csupán a most élőkről, az evolúció azt mondja el, hogy fokozatosan összekapcsolódó vonalak kötnek össze minden fajt minden másik fajjal. Ha a történelemről van szó, akkor még az olyan nyilvánvalóan elkülönült mai fajokat is közös ősök megszakítatlan, sima folytonossága köti össze, mint a birkáké és a kutyáké.

Ernst Mayr, a huszadik századi evolúciókutatás nagy öregje a szakaszosság káprázatát tette felelőssé – filozófiai meghatározásával esszencializmusnak nevezve azt – azért, hogy az evolúció megértése oly későn következett be az emberi történelemben. Platón, akinek filozófiája az esszencializmus ösztönzőjének tekinthető, úgy vélte, hogy a tényleges dolgok tökéletlen változatai eszményi őstípusaiknak. Valamely eszményi térben függ egy lényegi, tökéletes nyúl, amely éppen olyan viszonyban áll a valóságos nyúllal, mint a matematikusok tökéletes köre egy porba rajzolt körrel. Sok ember a mai napig mélyen átitatódott azzal az eszmével, hogy a birkák birkák, a kecskék kecskék, és soha egyetlen faj sem hozhat létre egy másikat, mert ahhoz meg kellene változtatnia a „lényegét".

Nincs olyan, hogy lényeg.

Egyetlen evolucionista sem hiszi, hogy valamely mai faj átalakulhat egy másik mai fajjá. A macskából nem lesz kutya, miként megfordítva sem. Ám a macskák és a kutyák egy több tízmillió évvel ezelőtt élt közös ősből alakultak ki. Ha valamennyi átmenet élne, és megpróbálnánk elkülöníteni a macskákat a kutyáktól, az éppen olyan kudarcra ítéltetett vállalkozás lenne, mint a szalamandrák és a sirályok esetében. Az eszményi lényeg kérdésének érintése nélkül a macskák és kutyák elkülönítése azon (az esszencialisták szempontjából) szerencsés körülmény miatt bizonyul lehetségesnek, hogy az átmenetek történetesen kihaltak. Platón ironikusnak találhatná, ha megtudná, hogy éppenséggel egy tökéletlenség – a halál esetleges balvégzete – teszi lehetővé az egyik faj elkülönítését a másiktól. Természetesen ugyanez vonatkozik az emberi lényeknek a legközelebbi rokonainktól, sőt valójában a távolabbiktól való elkülönítésére is. A teljes és tökéletes információk – fosszilis és eleven információkat is ideértve – birtokában az állatok megkülönböztetése külön nevekkel lehetetlenné válna. Külön nevek helyett fokozatos skálára lenne szükségünk, éppúgy, mint a *forró, meleg, hűvös* és *hideg* szavakat is szerencsésebb olyan fokozatos skálákkal helyettesíteni, mint a Celsius és a Fahrenheit.

Az evolúciót ma már a gondolkodó emberek általánosan elfogadják, így reménykedhetünk abban, hogy végül az esszencialista elgondolásokat is sikerül legyőzni a biológiában. Sajnos erre még nem került sor. Az esszencializmus nem hajlandó megadni magát. A gyakorlatban ez többnyire nem okoz gondot. Mindenki egyetért abban, hogy a *Homo sapiens* más faj (sőt a többség szerint más nem is), mint a *Pan troglodytes*, a csimpánz. Ám azzal is ugyanígy egyetért mindenki, hogy ha követjük az emberősöket visszafelé a közös ősig, majd előre a csimpánzokig, az átmenetek mindvégig áttűnő folytonosságot alkotnak, amelyben minden generáció képes lett volna párosodni ellenkező nemű szülőjével vagy gyermekével.

A kereszteződési kritérium szerint minden egyed ugyanabba a fajba tartozik, mint a szülei. Nem meglepő, sőt közhelyszerűen nyilvánvaló következtetés ez, mindaddig, amíg rá nem döbbenünk, hogy feloldhatatlan ellentmondást állít az esszencialista elme elé. Evolúciós történetünk során legtöbb ősünk tőlünk minden kritérium szerint eltérő fajhoz tartozott, és bizonyára nem lettünk volna képesek kereszteződni velük. A devon időszakban közvetlen elődeink halak voltak. Mégis, bár nem lettünk volna képesek kereszteződni velük, ősnemzetségek olyan töretlen láncolata köt össze bennünket, amelynek minden tagja képes lett volna párosodni a láncolatban közvetlenül előttük vagy utánuk állókkal.

Ennek fényében lássuk be, mennyire üres a valamely hominida fosszília elnevezéséről folytatott legtöbb szenvedélyes vita. A *Homo erectus*t általánosan a *Homo sapiens* elődfajának tartják, így a következőkben ezzel játszadozom el kissé. Hogy a *Homo erectus*t a *Homo sapiens*től eltérő fajnak nevezzük, annak elvileg pontos jelentése lehet, még akkor is, ha a gyakorlatban ezt lehetetlen kipróbálni. Azt jelenti ez, hogy ha időgépünkkel vissza tudnánk menni, és találkozhatnánk *Homo erectus* őseinkkel, akkor nem tudnánk kereszteződni velük.* Ám most feltételezzük azt, hogy ahelyett, hogy közvetlenül a *Homo erectus* vagy bármely másik kihalt elődünk korába utaznánk, útközben minden ezer évben megállítjuk az időgépünket, hogy felvegyünk egy fiatal és termékeny utast. Ezt az utast visszavinnénk a következő ezredéves megállóba, ahol kiengednénk (felváltva hol nőt, hol hímet). Feltéve, hogy egy megállóban időutasunk alkalmazkodni tudna a helyi társadalmi és nyelvi szokásokhoz (eléggé magas elvárás), nem lenne biológiai akadálya annak, hogy kereszteződjék egy ezer évvel korábbi, ellenkező nemű egyeddel. Most vegyünk fel egy új utast, ezúttal egy hímet, és vigyük vissza újabb ezer évvel. Biológiailag most is képes lenne megtermékenyíteni egy saját koránál ezer évvel korábbi nőt. A százszorszépfüzér folytatódna egészen addig, amikor őseink még a tengerben úszkáltak. Megszakítatlan lenne a lánc egészen a halakig, és még mindig igaz lenne, hogy minden egyes, saját koránál ezer évvel korábbra visszavitt utas képes lenne kereszteződni elődjeivel. Mégis, bizonyos ponton, amely lehet egymillió évvel korábban, de lehet hosszabb vagy rövidebb időszak is, eljönne az az idő, amikor mi, maiak nem lennénk képesek kereszteződni valamelyik ősünkkel, még akkor sem, ha legutóbbi egymegállós utasunk képes lenne rá. Ezen a ponton mondhatnánk, hogy más fajhoz érkeztünk.

A határ nem hirtelen jelenne meg. Soha nem lenne olyan nemzedék, amelynél értelme lenne valamely egyedet *Homo sapiens*nek, míg szüleit *Homo erectus*nak nevezni. Ha tetszik, akár paradoxonnak is tarthatjuk, még sincs értelme azt gondolni, hogy valaha is egy gyermek más fajba tartozott, mint szülei, még akkor sem, ha a szülők és gyermekek százszorszépfüzére az emberektől a halakig vagy még tovább nyúlik vissza. Valójában ez nem paradoxon másnak, csak a megátalkodott esszencialistáknak. Nem nagyobb paradoxon ez, mint amikor azt állítjuk, hogy soha nincs olyan pillanat, amikor egy növésben lévő gyermek többé már nem alacsony, hanem magas. Vagy hogy a fazék már nem hideg, hanem meleg. A jogi elme talán szükségesnek tartja, hogy határt szabjon a gyermek- és a felnőttkor között – mondjuk a tizennyolcadik születésnapon az éjféli konduláskor, vagy bármikor. Ám bárki beláthatja, hogy mindez (bizonyos szempontból ugyan nélkülözhetetlen) fikció. Bárcsak több ember látná be, hogy ugyanez érvényes akkor is, amikor mondjuk a fejlődő embrióból „ember" lesz.

* Nem tényként állítom ezt. Nem tudom, hogy tény-e ez, bár úgy sejtem, az. Ez következik abból az elfogadható megállapodásunkból, hogy a *Homo erectus*nak külön nevet adtunk.

A teremtéshívők imádják a kövületsorozatban lévő „hézagokat". Bár kevéssé tudják, a biológusoknak is jó okuk van imádni ezeket. A kövületek hézagai nélkül egész fajelnevezési rendszerünk összeomlana. A kövületeket lehetetlen volna elnevezni, ha nem számokkal vagy a grafikonon elfoglalt helyük megadásával azonosíthatnánk őket. Vagy ahelyett, hogy gyűlölködve azon vitatkoznánk, vajon egy kövület, mondjuk *Homo erectus* vagy kései *Homo habilis*-e, esetleg *habirectus*nak neveznénk el. Sok mindent mondhatnánk erről. Mégis, tán amiért agyunk olyan világban alakult ki, ahol a legtöbb dolog elkülönült kategóriákba tartozik, és különösen, ahol az élő fajok legtöbb köztes formája már elpusztult, gyakran fesztelenebbül érezzük magunkat, ha róluk beszélvén külön névvel illethetjük a dolgokat. Én sem vagyok kivétel, és az olvasó sem az, így nem is töröm magam azon, hogy könyvemben elkerüljem a nem folytonos fajnevek használatát. Ám a szalamandra meséjéből megtudtuk, miért tekinthető ez inkább emberi előítéletnek, semmint a természetbe mélyen beépült dolognak. Használjuk hát úgy a neveket, mintha valóban valami nem folytonos valóságot tükröznének, de magunkban mindenesetre gondoljunk arra, hogy legalábbis az evolúció világában nem más ez, mint fikció, cinkos összekacsintás korlátozottságainkkal.

A szűkszájú meséje

A *Microhyla* nembe (amelyet néha a *Gastrophrynae*-vel kevernek össze) a szűkszájúaknak nevezett kis békákat soroljuk. Több faj is tartozik ide, köztük két északamerikai: a keleti szűkszájú, a *Microhyla carolinensis*, és a síkségi szűkszájú, a *Microhyla olivacea*. Ezek ketten olyan közeli rokonok, hogy a természetben gyakran keveredtek. A keleti szűkszájú területe a keleti part mentén a két Carolinától egészen Floridáig, nyugaton pedig Texas felére és Oklahomáig terjed. A síkségi szűkszájú a nyugati Baja Californiától egészen Közép-Texasig és Oklahomáig, északon pedig Missouriig terjed. Az a lényeg, hogy területeik középütt találkoznak: van egy átfedési zóna, amely Texas keleti feléről átnyúlik Oklahomába. Miként mondtam, alkalmilag hibridek is előfordulnak ebben az átfedési zónában, de a békák többnyire maguk is éppúgy különbséget tesznek, mint a herpetológusok. Ez igazolja, hogy két külön fajként tartjuk őket számon.

Mint bármely két faj esetében, itt is lenni kellett olyan időnek, amikor a kettő egy volt. Valami elválasztotta őket: műszóval élve az egyetlen ősi faj „speciáción", fajképződésen ment keresztül, és kettő lett belőle. Ez annak a modellje, ami az evolúció bármely elágazási pontjában történik. Minden fajképződés azzal kezdődik, hogy ugyanazon faj két populációja először is valamiképp elkülönül egymástól. Nem mindig földrajzi különválásról van itt szó, hanem – miként azt meglátjuk *A bölcsőszájú hal meséjé*ben – valami olyasféle kezdeti elkülönülésről, amely lehetővé teszi a két eltávolodó populáció statisztikai génmegoszlását. Ez aztán valami láthatóval: alakkal, színnel vagy viselkedéssel kapcsolatos evolúciós eltérést eredményez. Az amerikai békák e két populációja esetében a nyugati faj szárazabb éghajlathoz alkalmazkodott, mint a keleti, ám a legnyilvánvalóbb különbség párhívó hangjukban jelentkezik. Mindkettő vinnyogó búgás, de a nyugati faj minden búgása körül-

belül kétszer annyi ideig (2 másodpercig) tart, mint a keleti fajé, ugyanakkor meghatározó hangfekvése is érzékelhetően magasabb: másodpercenként 4000 rezgés, szemben a 3000-rel. Úgy is mondhatnák, hogy a nyugati szűkszájú meghatározó hangfekvése körülbelül a felső C, a zongora legmagasabb hangja, míg a keletié az ez alatt fekvő fisz. Ezek a hangok azonban nem zeneiek. Mindkét hívás olyan kevert frekvenciákból áll, amelyek a meghatározótól fölfelé és lefelé is jóval eltérnek. Mindkettő búgás, de a keleti búgása mélyebb. A nyugati hívás nemcsak hogy hosszabb, de egy sajátos nyikkanással kezdődik, amelynek hangfekvése addig emelkedik, amíg be nem kapcsolódik a búgás. A keleti békák egyből rövidebb búgásukkal indítanak.

Miért foglalkozunk ezekkel a hívóhangokkal ilyen részletesen? Azért, mert amit kifejtettem, az csak az átfedési zónára érvényes, ahol az összehasonlítás a legtisztább, és éppen ez a mese lényege. W. F. Blair jó nagy szórású mintavételt végzett az Egyesült Államok számos helyszínén, és káprázatos eredményeket kapott. Azokon a területeken, ahol a két békafaj sohasem találkozik – Floridában, a keleti faj esetében, és Arizonában a nyugatinál –, énekük hangfekvése sokkal inkább hasonlít egymásra: a meghatározó hangmagasság 3500 rezgés körül van másodpercenként: a zongora felső A-ja. Az átfedési zóna környékén, de nem pontosan benne, már nagyobb az eltérés a két faj között, de mégsem akkora, mint magában az átfedési zónában.

Zavarba ejtő következtetésre jutunk. E két faj hívóhangjait az átfedési zónában valami szétnyomja. Blair értelmezése szerint – amellyel nem mindenki ért egyet – így büntetik a hibrideket. A természetes kiválasztódás minden olyasminek kedvez, ami elősegíti a kereszteződés lehetőségét azzal, hogy a fajok megkülönböztethetők, és elkerülhető a téves választás. Az ilyen apró különbségek talán csak az ország azon részeiben kapnak hangsúlyt, ahol jelentőséggel bírnak. Theodosius Dobzhansky, a nagy evolúciógenetikus ezt nevezte a szaporodási elszigetelődés „megerősítésének". Nem mindenki fogadja el Dobzhansky megerősítési elméletét, de a szűkszájú meséje ezt látszik alátámasztani.

Van még egy alapos oka a közeli rokon fajok széttolódásának, ha átfedésbe kerülnek: nagy valószínűséggel versengenek a hasonló erőforrásokért. *A galápagosi pinty meséjé*ben láttuk, hogyan osztoztak meg a különböző pintyfajok a rendelkezésre álló magvakon. A nagyobb csőrű fajok a nagyobb magvakat fogyasztják. Ahol nincsenek átfedésben, ott mindkét faj az erőforrások szélesebb körét veheti igénybe – nagyobb és kisebb magvakat egyaránt. Ahol átfedik egymást, ott mindegyik faj arra kényszeríti a többit, hogy eltérő legyen. A nagycsőrű faj esetleg még nagyobb csőrt fejleszt, a kisebb csőrű még kisebbet. Egyébként szokás szerint ne hagyjuk magunkat megtéveszteni a változásra való késztetés eszméjétől, hiszen hogyha a másik faj is jelen van, az egyes fajokon belül valóban azok az egyedek boldogulnak, amelyek történetesen jobban különböznek a versengő fajtól.

Ezt a jelenséget – amikor két faj jobban különbözik egymástól, ha átfedésben vannak, mint amikor nem – „tulajdonságeltolódásnak" vagy „fordított átmenetnek" nevezzük. A biológiai fajokból kiindulva könnyű általánosítani olyan esetekre, amikor valamely létező bármelyik osztálya jobban különbözik, ha találkozik egy másikkal, mintha önmagában van. Kísértést érzek, hogy párhuzamot vonjak az emberi világgal, de ellenállok. Ahogy az írók mondani szokták, ezt a feladatot az olvasóra hagyom.

Az axolotl meséje

A fiatal állatokra úgy gondolunk, mint azoknak a felnőtteknek a kisméretű változataira, amelyekké válnak majd, ám ez távol áll attól, hogy szabály legyen. Az állatfajok többsége ettől valószínűleg igencsak eltérő életpályát követ. A kicsinyek a szüleikétől teljesen elütő életmód specialistájaként gondoskodnak a megélhetésükről. A plankton jelentős része olyan úszó lárvákból áll, amelyeknek felnőttkora – ha megérik, amely statisztikailag nagyon valószínűtlen – teljesen különböző lesz. Sok rovarnál a lárvaállapot alkotja a táplálékszerzés zömét, amelynek során olyan testet épít fel, amely végül felnőtté alakul át, hogy ne legyen más feladata, mint a szétszóródás és a szaporodás. A tiszavirághoz hasonló rendkívüli esetekben a felnőtt egyáltalán nem is táplálkozik – mivel az örökösen zsugori* természet miatt nincs is tápcsatornája és egyéb költséges táplálkozófelszerelése.

A hernyó egy evőgép, amely, amikor növényi táplálékon jókorára nő, gyakorlatilag saját testét újrahasznosítva alakul át felnőtt pillangóvá, amely repül, repülési üzemanyagként nektárt szív és szaporodik. A felnőtt méhek ugyancsak nektárral táplálják repülőizmaikat, miközben pollent (teljesen eltérő táplálékot) gyűjtenek a kukacszerű lárváknak. Számos rovarlárva él víz alatt, mielőtt felnőttként kikelnének, hogy a levegőben repüljenek, és más vizekbe elterjesszék génjeiket. Sokféle tengeri gerinctelennek van olyan felnőtt állapota, amelyben a tengerfenéken élnek, gyakran egy helyhez horgonyozva, míg a teljesen eltérő lárvaállapotban a planktonban úszva terjesztik a génjeiket. Ezek közé tartoznak a puhatestűek és tüskésbőrűek (tengerisünök, tengericsillagok és -uborkák, kígyókarú tengericsillagok), a tengeri zsákállatok, sokfajta féreg, rák, homár és kacsakagyló. A parazitáknak jellegzetesen egy sor különböző lárvaállapota van, amelyek mindegyike sajátos életmóddal és étrenddel párosul. Az egyes életszakaszokban ugyan mind paraziták, de más és más gazdaszervezeteken. Némely parazita féregnek öt teljesen különböző növendékszakasza van, melyek mindegyikében az összes többitől eltérő módon gondoskodik a betevőről.

Mindez annyit jelent, hogy az egyes egyedeknek magukban kell hordaniuk az eltérő életmódot követő minden egyes lárvaállapot teljes genetikai utasításkészletet. Egy hernyó génjei „tudják", hogyan készítsenek pillangót, és a pillangó génjei is tudják, hogyan készítsenek hernyót. Nem vitás, hogy olykor ugyanazok a gének vesznek részt, persze különböző módon, e két gyökeresen különböző test megformálásában. Más gének szunnyadnak a hernyóban, és a pillangóban indulnak be. Ismét mások a hernyóban aktívak, és működnek, míg kikapcsolódnak, amikor az pillangóvá válik. Ám mindkét testben jelen van a teljes génkészlet, és továbbadódik a következő nemzedékre. A tanulság az, hogy nem szabad túlzottan meglepődnünk, ha egymástól annyira eltérő állatok, mint a hernyók és a pillangók alkalmasint közvetlenül a másikká alakulnak. Hadd fejtsem ki, mire is gondolok.

A tündérmesék teli vannak hercegekké változó békákkal, vagy fehér egerekből átalakult fehér lovak vontatta, tökből lett kocsikkal. Az ilyen fantáziák mélységesen nem evolucionisták. Ilyenek nem történhetnek meg sem biológiai, sem matematikai okoknál fogva. Az ilyen értékeknek olyan alapvető valószínűtlenségi értéke van, amely mondjuk egy tökéletes osztásnak felel meg a bridzsben, tehát gyakorla-

* Szándékosan használom ezt a szót *(niggardly)*. 1999-ben Washington DC polgármestere elfogadta egy tisztviselő lemondását, akinek a költségvetési javaslat kicsinyességével (a *niggardly* szót használta) kapcsolatos megjegyzése sértette. Julian Bond, az NAACP elnöke helyesen nevezte a polgármester ítéletét kicsinyesnek. Ezen az ügyön felbuzdulva a Wisconsin Egyetem egy komisz kis diákja hivatalos panaszt tett professzorára, aki a *niggardly* szót használta egy Chaucerről szóló előadásban. Az ilyen tudatlan boszorkányüldözés nem csak az USA-ra jellemző. 2001-ben éber brit polgárok csődülete kövekkel dobálta meg egy gyermekorvos *(paediatrician)* házát, mert a szót összetévesztették a pedofillal *(paedophile)*.

tilag kizárhatjuk őket. Ám egy hernyónak nem gond, hogy pillangóvá alakuljon: szakadatlan megtörténik, hiszen törvényeit a természetes kiválasztódás korszakokon keresztül építette föl. És bár pillangót hernyóvá változni még soha senki sem látott, ezen mégsem hökkennénk meg annyira, mintha béka alakulna herceggé. A békák nem tartalmaznak hercegkészítő géneket. Tartalmaznak viszont ebihalkészítő géneket.

Hajdani oxfordi kollégám, John Gurdon 1962-ben hatásosan kimutatta ezt, amikor egy felnőtt békát (azaz egy felnőtt békasejtet!) ebihallá változtatott (felvetették, hogy ez a legeslegelső gerinces klónozás megérdemel egy Nobel-díjat). Hasonlóképp a pillangók is tartalmaznak hernyóvá alakító géneket. Nem tudom, milyen embriológiai akadályokat kellene legyőzni ahhoz, hogy egy pillangót rávegyünk a hernyóvá alakulásra. Nem vitás, nagyon nehéz lenne. Ám a lehetőség nem annyira teljesen nevetséges, mint a békából herceggé alakulás. Ha egy biológus azzal állna elő, hogy rávett egy pillangót a hernyóvá változásra, érdeklődéssel tanulmányoznám a beszámolóját. Ám ha azt állítaná, hogy meggyőzött egy tököt arról, alakuljon üvegkocsivá, vagy egy békát, hogy változzon herceggé, a bizonyítékok szemrevételezése nélkül is tudnám, hogy csaló. A két eset közti különbség lényegbevágó.

Az ebihalak a békák vagy a szalamandrák lárvái. A vízi ebihalak a „metamorfózisnak", átalakulásnak nevezett folyamat során gyökeresen átalakulnak szárazföldi békákká vagy szalamandrákká. Egy ebihal talán nem különbözik annyira egy békától, mint egy hernyó a pillangótól, de nem is sok marad belőle. Egy tipikus ebihal úgy él, mint egy kis hal: a farkával úszik a víz alatt, kopoltyúkkal lélegzik, és növényi táplálékot eszik. Egy tipikus béka a szárazföldön keresi a megélhetését, inkább ugrik, mint úszik, víz helyett levegőt lélegzik, és eleven zsákmányállatokra vadászik. Bármennyire különbözőnek látsszék, mégis könnyedén el tudunk képzelni egy békaszerű felnőtt őst, amint ebihalszerű felnőtt utóddá fejlődik, mivel minden béka tartalmazza az ebihalkészítő géneket. Egy béka genetikailag „tudja", hogyan kell ebihalnak lenni, az ebihal pedig tudja, hogyan kell békának lenni. Ugyanez igaz a szalamandrákra, amelyek jobban hasonlítanak a lárváikra, mint a békák az övéikre. A szalamandrák nem veszítik el ebihalfarkukat, bár a farok általában veszít hajógerincszerű, függőleges alakjából, és a felnőtteknél kerekebb átmérőjű. A szalamandralárvák gyakran húsevők, akár a felnőttek. És ugyancsak a felnőttekhez hasonlóan, lábaik vannak. A legfeltűnőbb különbség az, hogy a lárvák hosszú, tollszerű kopoltyúkkal rendelkeznek, de ezen túl is akad számos nyilvánvaló különbség köztük. Valójában egy szalamandrafajt könnyű volna olyan fajjá alakítani, amelynek a felnőtt állapota ebihal lenne. Mindössze arra volna szükség, hogy szaporítószervek korán éretté váljanak, az átalakulás pedig álljon meg. Ám ha csupán a felnőtt fokozat kövülne meg, úgy nézne ki, mint egy nagymérvű, de nyilvánvalóan „valószínűtlen" evolúciós átalakulás.

És így érkezünk el az axolotlhoz, amelynek a meséjét olvassuk. Furcsa teremtmény ez az egyetlen mexikói hegyi tóban honos állat. A meséje lényegéből fakad, hogy nehéz megmondani, mi is pontosan egy axolotl. Szalamandra? Hát, egyfajta szalamandra. Latin neve *Ambystoma mexicanum*, közeli rokona a tigrisszalamandrának, az *Ambystoma tigrinum*nak, amely ugyanazon a vidéken és Észak-Amerikában még szélesebb körben él. A nyilvánvaló okból elnevezett tigrisszalamandra egy közönséges, hengeres farkú, száraz bőrű szalamandra, amely a szárazföldön kószál.



Túlfejlett ebihal
Axolotl *(Ambystoma mexicanum)*

Az axolotl pedig egyáltalán nem egy felnőtt, hanem egy lárva szalamandrára hasonlít. Valójában egyetlen dolog kivételével lárva szalamandra: soha nem alakul át rendes szalamandrává, és soha nem hagyja el a vizet, hanem úgy párosodik és szaporodik, hogy közben ifjoncként viselkedik. Kis híján azt nem mondtam, hogy párosodik és szaporodik, miközben továbbra is ifjonc, ám ez ellentmondott volna az ifjonc fogalmának. A fogalmat félretéve, aligha kétséges, mi történt a mai axololt evolúciója során. A legutóbbi ős csupán egy közönséges – nagy valószínűséggel a tigrisszalamandrára hasonló – szárazföldi szalamandra volt. Úszó lárvája külső kopoltyúkkal és mélygerincű farokkal rendelkezett. Lárvaélete végén a várakozásnak megfelelően szárazföldi szalamandrává alakulhatott át. Ám ekkor valami figyelemre méltó evolúciós változás jelent meg. Talán a hormonok vezérletével valami eltolódott az embriológiai naptárban úgy, hogy a nemi szervek és a szexuális viselkedés egyre korábban vált éretté (de akár hirtelen változás is lehetett). Ez az evolúciós regresszió addig folytatódott, amíg a nemi érettség akkor következett be, ami más tekintetben lárvaállapotnak számított. A felnőttkor egyszerűen levált az élettörténet végéről. Megfordítva, ha így tetszik, a nemi érésnek a test többi részéhez viszonyított felgyorsulása helyett („progenezis") minden másnak a nemi éréshez viszonyított lelassulásaként („neoténia") is felfoghatjuk a változást.*

Akár neoténiának, akár progenezisnek nevezzük is az eszközt, az evolúciós következmény neve pedomorfózis. Nem nehéz belátni hihetőségét. Valamely fejlődési folyamatnak a többi fejlődési folyamathoz viszonyított lelassulása vagy felgyorsulása az evolúcióban szüntelenül megtörténik. Ezt hívjuk heterochroniának, és ha belegondolunk, feltehetőleg ez húzódik meg sok, ha nem éppen az összes anatómiai formát illető evolúciós változás mögött. Ha a szaporodószervek fejlődése tér el heterochronikusan a többi fejlődési folyamathoz képest, akkor olyan új fajt kapunk, amelyből hiányzik a jó öreg felnőttkor. Úgy tűnik, ez történt az axolotllal.

Az axolotl csupán szélsőség a szalamandrák között. Számos faj tűnik legalábbis részben pedomorfikusnak. Mások egyéb heterochronikusan érdekes dolgokat művelnek. A köznyelven „gőtéknek" nevezett különféle szalamandrafajoknak különösen sokatmondó élettörténetük van.** A gőte kopoltyús lárvaként vízben kezdi az életét. Azután kijön a vízből, és két-három évig egyfajta szalamandraként szárazföldön él, miközben elveszti kopoltyúit és farkáról az uszonyt. Ám a többi szalamandrától eltérően a gőték nem a szárazföldön szaporodnak, hanem visszatérnek a vízbe, és visszanyerik néhány, ha nem is az összes lárvatulajdonságukat. Az axolotltól eltérően a gőtéknek nincsenek kopoltyúik, és az a tény, hogy a levegőért a felszínre kell emelkedniük, fontos és versengő hatású módon korlátozza víz alatti udvarlásukat. Nem úgy, mint a lárvakopoltyúkat, lárvakori farokúszóikat visszanyerik, és más tekintetben is lárvára hasonlítanak. Ám egy tipikus lárvától eltérően szaporítószerveik kifejlődnek, és víz alatt udvarolnak, párzanak. A szárazföldi szakasz soha nem tér vissza, és ilyen értelemben talán jobb is, ha nem nevezzük őket „felnőttnek".

* Stephen Jay Gould nagy segítséget jelentő terminológiai tisztázásra vállalkozott az *Ontogeny and Phylogeny* (Ontogenezis és filogenezis) című klasszikus művében.

** A. Fink-Nottle, lásd *Irodalom*.

Feltehetjük a kérdést: egyáltalán miért vesződnek a gőték a szárazföldi létformával, hiszen szaporodni úgyis visszatérnek a vízbe. Miért nem követik az axolotlt, amely vízben indul, és ott is marad? A válasz úgy tűnik, nem más, mint hogy előnyös az esős évszakban képződő kis tavacskákban szaporodni, amelyek kiszáradásra vannak ítélve, de hogy eljussanak beléjük, jónak kell lenni a szárazföldön is (Romer árnya kísért). A tavat elérve, vajon hogyan találják fel újra a vízi készségeket? A heterochronia hozza a felmentést, méghozzá egy sajátos fajtájú heterochronia, amely hátraarccal jár, miután a „szárazföldi felnőtt" egy új, ideiglenes tóba való elterjedéssel teljesítette a feladatát.

A gőték példája kiemeli a heterochronia rugalmasságát. Arra emlékeztet bennünket, amire egyszer már rámutattam, vagyis: honnét „tudják" a gének az életciklus valamely részén, hogyan készítsék el az életciklus más részeit. A szárazföldi szalamandrák génjei azért tudják, hogyan kell vízi formát készíteni, mert egykor maguk is víziek voltak. A gőték pontosan ezt igazolják.

Az axolotlok egy vonatkozásban egyértelműbbek. Egyszerűen levágták ősi életciklusukról a szárazföldi fázist. Ám a szárazföldi szalamandra készítéséhez szükséges gének ettől még ott lapulnak minden axolotlban. Laufbergernek és Julian Huxleynak a *Kisláb meséjé*hez fűzött utóhangban említett klasszikus munkásságából már régóta tudjuk, hogy a gének laboratóriumban megfelelő hormonadaggal aktivizálhatók. A tiroxinnal kezelt axolotlok elveszítik kopoltyúikat, és szárazföldi szalamandrákká válnak, éppúgy, ahogy őseik is tették természetes úton. Talán ugyanezt a kunsztot a természetes kiválasztás révén is el lehetne érni, ha a kiválasztás kedvelné. Ennek egyik módja lehetne a tiroxintermelés genetikailag közvetített megnövelése (vagy a meglévő tiroxin iránti fokozott érzékenység). Lehet, hogy az axolotlok történetük során ismételt pedomorfikus és fordított pedoformikus fejlődésen estek át. Elképzelhető, hogy a fejlődő állatok általában is folytonosan, bár az axolotlnál kevésbé drámai módon mozognak hol ide, hol oda a pedomorfózis/fordított pedomorfózis tengelyen.

A pedomorfózis azon eszmék közé tartozik, amelyeknek, ha egyszer megragadjuk, nem tudunk szabadulni a körülöttünk lévő példáitól, akárhová is nézünk. A második világháború alatt apám az Afrikai Királyi Lövészek tisztje volt. Ali nevű csicskása még sosem látta azoknak a nagyvadaknak a többségét, amelyekről hazája oly híres, és amikor először megpillantott egy szavannán átvágtázó struccot, meglepetten így kiáltott fel: „Nagy csibe! NAGY CSIBE!" Alinak majdnem igaza volt, de találóbb lett volna, ha ezt mondja: „Nagy kiscsibe!" A strucc szárnyai esetlen kis csonkok, akár a frissen kikelt kiscsibéé. Egy repülő madár erős evezőtollai helyett a strucctollak a kiscsibék pelyhes tollainak durvább változatai. A pedomorfizmus megvilágítja az olyan röpképtelen madarak evolúciójának megértését, mint a strucc vagy a dodó. Igen, a természetes kiválasztódás gazdaságtana előnyben részesítette a pelyhes tollakat és a csonka szárnyakat az olyan madaraknál, amelyeknek nem kellett repülniük (lásd *Az elefántmadár* és *A dodó meséjét*). Ám a pedomorfózis volt az az evolúciós útvonal, amelyen a természetes kiválasztás a kívánatos végeredmény érdekében járt. A strucc egy túlfejlett kiscsibe.

A pekingi palotapincsik túlfejlett kiskutyák. A felnőtt pekingi pincsiknek a kiskutyákra jellemző domború homloka, fiatalos járása, sőt fiatalos tekintete is van. Konrad Lorenz gonoszkodva megjegyezte, hogy a pekingiek, akárcsak az olyan

csecsemőarcú fajták, mint a Cavalier King Charles spánielek is, a frusztrált anyák anyai hajlamaira építenek. A tenyésztők akár tudták, minek a megvalósításával próbálkoznak, akár nem, azt biztosan nem tudták, hogy amit cselekszenek, az nem más, mint a pedomorfózis mesterséges változata.

Walter Garstang, az egy évszázaddal ezelőtt élt, jól ismert angol zoológus hangsúlyozta elsőként a pedomorfózis jelentőségét az evolúcióban. Garstang ügyét később veje, Alister Hardy karolta fel, aki egyetemista koromban a professzorom volt. Sir Alister örömmel szavalgatta azokat a térfás versikéket, amelyek Garstang kedvenc eszközei voltak eszméi közvetítésére. Akkoriban kissé mulatságosak voltak, de szerintem annyira mégsem, hogy igazolják azt a bonyolult zoológiai szómagyarázatot, amelynek együtt kéne járnia azzal, ha itt közzétenném valamelyiket.* Garstang elmélete a pedomorfózisról azonban ma éppoly érdekes, mint valaha – bár ez nem szükségszerűen jelenti azt, hogy igaz is.

* *A lándzsahal meséjében* megtalálható az egyik töredék.

A pedomorfózist úgy is elgondolhatjuk, mint egyfajta evolúciós kezdőcselt: a Garstang-féle kezdőcselt. Elméletben teljesen új irányt adhat hírül: az is meglehet, miként Garstang és Hardy hitték, hogy drámai és geológiai fogalmakkal mérve hirtelen kitörést tesz lehetővé egy evolúciós zsákutcából. Különösen ígéretes lehet ez, ha az életciklus egy olyan külön lárvafázissal játszadozik, mint amilyen az ebihalé. Egy olyan lárva, amely már a jó öreg felnőttétől eltérő életmódhoz alkalmazkodott, arra van előkészítve, hogy az evolúciót teljesen új irányba térítse el pusztán azzal, hogy minden máshoz képest felgyorsítja a nemi érést.

A gerincesek unokatestvérei között találjuk a zsákállatokat vagy tengeritömlőket. Ez azért tűnik meglepőnek, mert a felnőtt zsákállatok helyhez kötött, kövekhez vagy hínárhoz horgonyzott szűrve táplálkozók. Hogy lehetnek ezek a puha vizeszacskók a fürgén úszó halak unokatestvérei? Nos, a felnőtt zsákállat talán úgy néz ki, mint egy vizeszacskó, de a lárvája olyan, mint egy ebihal. Még úgy is hívják, hogy „ebihallárva". Elképzelhetjük, mit kezdett ezzel Garstang, s mi vissza is térünk erre a kérdésre, amikor a 24. találkozáson, ahol a zsákállatokkal találkozunk, sajnálatosan megkérdőjelezzük Garstang elméletét.

Nem feledve, hogy a felnőtt pekingi pincsi egy túlfejlett kiskutya, gondoljunk csak a fiatal emberszabásúak fejére. Mire emlékeztetnek? Egyetérthetünk abban, hogy egy fiatal csimpánz vagy orangután sokkal emberszerűbb, mint egy felnőtt csimpánz vagy orangután? Elismerten kérdéses, de némely biológus az embert serdülő emberszabásúnak tartja. Egy olyan emberszabásúnak, amely soha nem nőtt föl. Egy emberszabású axolotlnak. Ezzel az eszmével találkoztunk már a *Kisláb meséjé*hez fűzött utóhangban, úgyhogy nem ismétlem meg itt újra.

18. TALÁLKOZÁS ■ TÜDŐS HALAK

18

A 18. találkozáson, körülbelül 417 millió évvel ezelőtt a devon–szilur időszak határának meleg és sekély tengereiben csatlakozik hozzánk azoknak a zarándokoknak az apró csapata, amelyek a jelenből egymagukban baktattak végig az úton. Ők a tüdős halak, akik most hozzánk csapódnak, hogy megszemléljük közös ősünket, amely élmény nekik talán nem tűnik annyira meghökkentőnek, mint nekünk, hiszen nekik több közös vonásuk van a 18. köz-őssel. Megközelítőleg a 185 milliomodik ősszülőnk a Sarcopterygii (izmosúszójú halak) alosztályba tartozott, és nyilván közelebb állt a tüdős halhoz, mint egy négylábúhoz.

A tüdős halaknak ma csupán hat faja él: az ausztráliai *Neoceratodus forsteri*, a dél-amerikai *Lepidoseiren paradoxa* és a négy afrikai *Protopterus*-faj. Az ausztráliai tüdőshal valóban úgy néz ki, mint egy húsos izmosúszójú, mint egy bojtosúszójú hal. Az afrikai és a dél-amerikai fajok, amelyek közeli rokonai egymásnak, úszóikat hosszú, lelógó rojtokká csökkentették, ezért egyre kevésbé hasonlítanak az izmosúszójú halakra, amelyekből kifejlődtek. Valamennyi tüdős hal levegőt lélegzik be a tüdejével. Az ausztráliai tüdőshalnak egy, míg a többinek két tüdeje van. Az afrikai és dél-amerikai fajok tüdőik segítségével vészelik át a száraz évszakot. Beássák magukat az iszapba, és ott alszanak, miközben az iszapban lévő kis légzőnyílásokon át lélegeznek. Az ausztráliai fajok ezzel szemben állandó, hínárral telt vizekben élnek. A tüdejükbe szívott levegővel segítik ki a kopoltyúikat az oxigénszegény vízben.

Amikor 1870-ben felfedezték, az ausztráliai Queenslandben, egy több mint 200 millió éves halfosszíliával, a *Ceratodus*szal vonták össze azonos néven. Ez utal rá, milyen keveset változott ez idő alatt. De mégse ragadtassuk el magunkat. A brit paleontológus, T. S. Westoll 1949-es klasszikus tanulmánya kimutatta, hogy a tüdős halak ugyan valóban egy helyben topogtak az utóbbi kétszáz-egynéhány millió évben, de annál gyorsabban fejlődtek azelőtt. A karbon időszakban – körülbelül úgy 350 millió évvel ezelőttől – valóban vágtáztak, mielőtt mintegy 250 millió évvel ezelőtt, a perm időszak vége felé annyira lelassítottak, hogy csaknem le is álltak.

A tüdős hal meséje tulajdonképpen egy „élő kövület" meséje.

* SZEMKÖZTI LAP

A *Limulus*, az úgynevezett „tőrfarkú rák" (egyáltalán nem rák, de önmagában nagyon hasonlít egy nagy trilobitára) ugyanabban a nemben található, mint a 200 millió évvel ezelőtti jura *Limulus walchi*ja. A *Lingula* (nyelvkagyló) a pörgekarúaknak vagy lámpáskagylónak is nevezett Brachiopoda osztályba tartozik. Ha egyáltalán hasonlít valamilyen lámpásra, akkor az az Aladdin-féle lehet, amelynek kanóca úgy áll ki, mint egy teáskannacső, de amire a *Lingula* igazán látványosan hasonlít, az saját 400 millió éve élt őse. Ugyanabban a nemben való elhelyezése vitatott, ám a fosszilis formák ennek ellenére figyelemre méltóan hasonlítanak mai képviselőikre.

A TÜDŐS HALAK CSATLAKOZNAK
Azt is mondhatnánk, hogy az emberek és a többi „négylábúak" olyan izmosúszójú halak, amelyeknek karjai, szárnyai vagy lábai módosult izmosúszók. A két másik izmosúszójú vonal a bojtosúszós halaké és a tüdős halaké. E három vonalnak a szétválása igen rövid idő alatt, a szilur végén következett be. Emiatt még a genetikai adatok révén is nehéz az elágazás sorrendjét különválasztani. A genetikai és a fosszilis vizsgálatok mégis arra utalnak, hogy a négylábúak legközelebbi élő rokonai az itt látható módon, a tüdős halak.

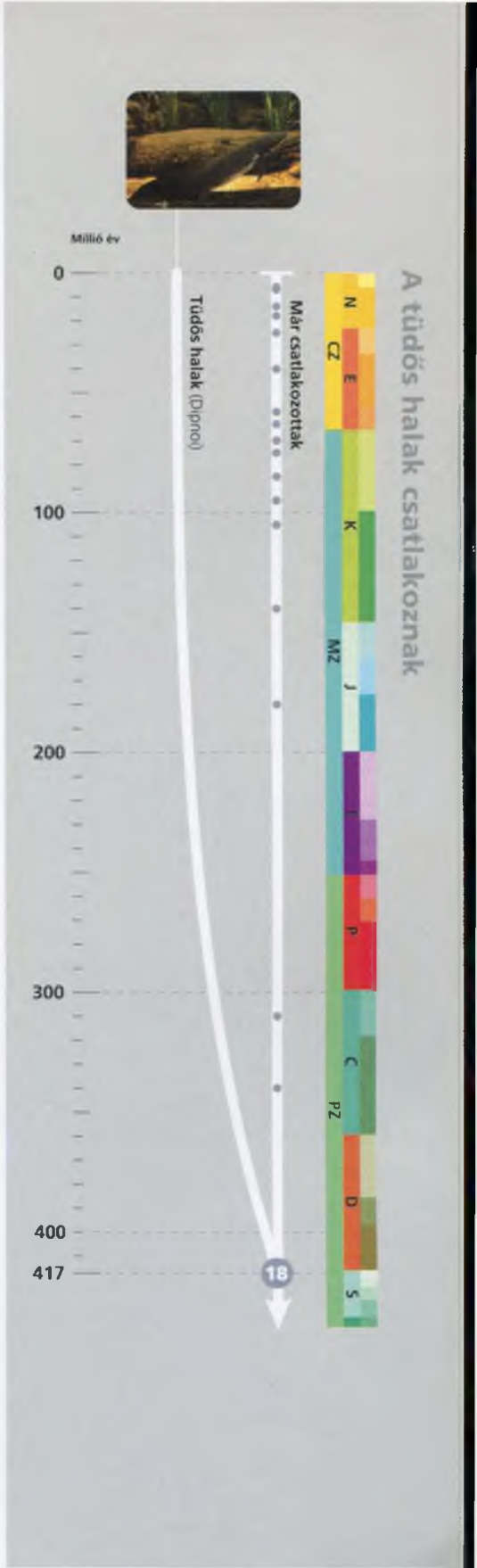
KÉP: ausztráliai tüdőshal *(Neoceratodus forsteri)*

A TÜDŐS HAL MESÉJE *(társszerző: Yan Wong)*

Az élő kövület egy olyan állat, amely bár éppoly eleven, mint mi valamennyien, erősen hasonlít távoli őseire. Nem sok evolúciós változás történt azon a vonalon, amely az élő kövületig vezet. A teljesen véletlenszerű, értelmetlen tények egyike, hogy a négy leghíresebb élő kövület neve mind L betűvel kezdődik: tüdős hal (az angolban *lungfish*), *Limulus*, *Latimeria* (bojtosúszós hal) és *Lingula*.* Bár ezeknek az élő kövületeknek az anatómiája és feltehetően az életmódja is alig változott, azért DNS-kódjuk fejlődése nem állt meg. Mi, a tüdős halak unokatestvérei, a szétválásunk óta eltelt sok százmillió év alatt igen sokat változtunk. Bár a tüdős halak teste ugyanezen idő alatt változatlan maradt, erre nem is gondolnánk, ha DNS-eik fejlődésének sebességét vizsgálnánk.

A sugarasúszójú halak (mint például a pisztráng vagy a sügér) ezalatt elképesztően változatos formákat alakítottak ki, éppúgy, mint meghittebb módon a négylábúak is, vagyis mi, agyonmagasztalt izmosúszójú halak, kiköltöztünk a szárazföldre. Maguknak az izmosúszójú halaknak a teste igen lassan fejlődött. Ugyanakkor viszont – és ez az egész mese értelme – úgy tűnik, genetikai molekuláik nem ragaszkodtak ugyanehhez a lassú tempóhoz. Ha így lett volna, akkor a tüdős halak és a bojtosúszós halak DNS-szekvenciái sokkal inkább hasonlítanának egymásra (és feltehetően őseikére), mint a mieinkre és a sugarasúszójú halakéra, márpedig ez nem így van.

A kövületekből ismerjük a tüdőshalak, a bojtosúszós halak, saját magunk és a sugarasúszójú halak elválásának megközelítő időpontjait. Az első szakadás körülbelül 440 millió éve a sugarasúszójú halak és mi, többiek közt következett be. Legközelebb a bojtosúszós halak váltak le, mintegy 425 millió éve. Maradtak a tüdős halak és mi, összes többiek. Körülbelül 5–10 millió év múlva azonban a tüdős halak is leváltak, otthagyva bennünket, többieket, a ma négylábúaknak

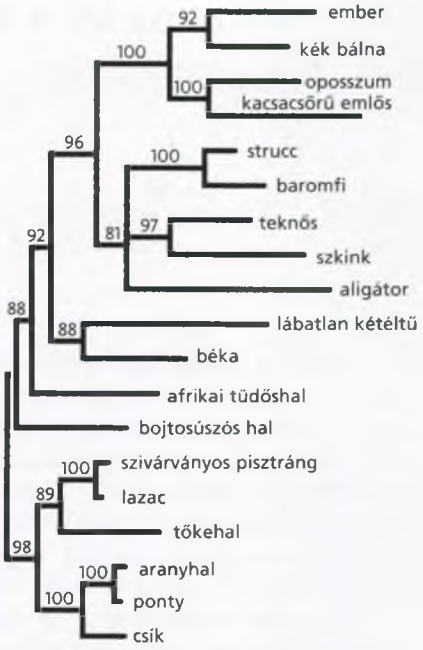




nevezetteket, hogy járjuk csak saját evolúciós utunkat. Az evolúciós idő előrehaladtával e három szakadás nagyjából egyidejűnek tűnik, legalábbis ahhoz a hosszú időhöz képest, amit e négy vonal fejlődése azóta bejárt.

Más problémákon munkálkodva a spanyol Rafael Zardoya és a német Axel Mayer a különböző fajok DNS-változataira a jobb oldalon látható evolúciós fát dolgozták ki. Az egyes vonalak hosszúsága a mitokondriális DNS evolúciós változásainak mennyiségét tükrözik.

Ha a DNS a fajoktól függetlenül, állandó sebességgel változna, akkor arra számíthatnánk, hogy valamennyi vonal a jobb oldali szegélynél érne véget. Ám nyilvánvalóan nem ez a helyzet. Viszont nem is azok az organizmusok mutatják a legkevesebb morfológiai változást, amelyeknek a legrövidebbek az ágaik. Úgy tűnik, hogy a tüdős halak és az izmosúszójú halak DNS-e ugyanolyan mértékben változott, mint a sugarasúszójú halaké. A szárazföldet meghódító gerincesek gyorsabb DNS-változáson estek át, ám még ez sincs egyértelmű kapcsolatban a morfológiai változással. E molekuláris vetélkedő győztesei és befutói a kacsacsőrű emlősök és az aligátorok, amelyek egyike sem fejlődött morfológiailag olyan gyorsan, mint mondjuk a kék bálnák vagy (hiába, a hiúság nem fékezi a nyelvet) mi.



Az ábrán a különböző fajoknak a DNS maximális valószínűségi elemzéséből (lásd *A gibbon meséjét*) származó evolúciós fája látható. Zardoya és Meyer [324] által összeállított különféle fák alapján.

Az ábra egy fontos tényre utal. A DNS-evolúció mértéke nem mindig állandó, de nem is felel meg egyértelműen a morfológiai változásnak. A fenti fa csupán egyik példája ennek. Lindell Bromham és munkatársai a Sussexi Egyetemen összevetették a morfológiai változásokon alapuló evolúciós fákat a DNS-változáson alapulókkal, és megállapításaik megerősítik a tüdős hal meséjének üzenetét. A genetikai változás általános aránya független a morfológiai evolúciótól.* Ez nem azt jelenti, hogy állandó – ez túl szép lenne ahhoz, hogy igaz legyen. Bizonyos ágazatok, így például a rágcsálók vagy a fonálférgek molekuláris evolúciója közeli rokonaikéhoz képest meglehetősen gyors ütemben zajlott, míg másoknál, így a csalánozóknál ez az ütem jóval lassabb, mint a rokon ágazatoké.

A tüdős hal meséje olyan reményre ösztönöz, amelyet néhány éve még egyetlen zoológus sem mert táplálni. A gének gondos megválasztásával és az eltérő evolúciós sebességeket mutatató ágazatok kiigazítására szolgáló megfelelő módszerrel évmilliós pontossággal képesek vagyunk meghatározni annak időpontját, hogy valamely faj mikor vált el a többitől. Ezt a világló reményt nevezzük „molekuláris órának", és e módszernek köszönhetjük e könyv legtöbb találkozásának idézett időpontját is. A molekuláris óra elvének és a működését még mindig megkeserítő ellentmondásoknak a magyarázatával majd *A bársonyféreg meséjé*nek utóhangjában találkozunk.

* Egy korábbi vizsgálat más eredményre vezetett. Ám Bromham és munkatársai meggyőzően igazolták, hogy a korábbi vizsgálat nem vette figyelembe az adatok nem független jellegét – a többszörös számolásnak azt a problémáját, amellyel *A főka meséjé*nek a 177. oldalon található jegyzetében utaltunk.

SZEMKÖZTI OLDAL
18. KÖZ-ŐS
A szárazföldi gerincesek a rekonstrukción itt látható izmosúszójú halakból alakultak ki. A név a hátúszó és az aszimmetrikus farkúszók kivételével az összes úszón szembetűnően látható lebenyből származik.

19. TALÁLKOZÁS ■ BOJTOSÚSZÓS HALAK

19

A 19. köz-ős, a mintegy 190 milliomodik ősszülőnk körülbelül 425 millió évvel ezelőtt élt, akkor, amikor a növények éppen birtokba vették a földet, és a korallzátonyok terjeszkedni kezdtek a tengerben. Ezen a találkozáson ennek a történetnek az egyik legritkább, legmegfoghatatlanabb zarándokcsoportjával találkozunk. A bojtosúszós halaknak csupán egyetlen ma élő nemét ismerjük, amelynek felfedezése óriási meglepetést keltett a maga idején. Az eseményt nagyszerűen leírja Keith Thomson a *Living Fossil: the Story of the Coelacanth* (Az élő kövület: A bojtosúszós hal története) című könyvében.

A bojtosúszós halakat jól ismerték a kövülettárban, de azt hitték, már a dinoszauruszok előtt kihaltak. Aztán mindenki meghökkenésére 1938-ban felbukkant egy dél-afrikai halászhajó zsákmányában. A szerencsének köszönhetően a *Nerita* nevű szkipper kapitánya, Harry Goosen jó barátságban volt a Marjorie Courtenay-Latimerrel, a Kelet-Londoni Múzeum lelkes, fiatal gondnokával. Goosennek az volt a szokása, hogy félretette barátnője számára az érdekes fogásokat, és 1938. december 22-én felhívta, hogy rábukkant valamire. A hölgy le is ment a rakpartra, ahol a legénység egyik öreg skót tagja megmutatta neki a kiselejtezett halak tarka gyűjteményét, amely első ránézésre egyáltalán nem tűnt érdekesnek. Éppen távozni készült, amikor:

„AKKOR SEM SEM LEPŐDTEM VOLNA MEG JOBBAN, HA EGY UTCÁN BANDUKOLÓ DINOSZAURUSZT PILLANTOK MEG"



Bojtosúszós hal *(Latimeria chalumnae)*. A fénykép a Comore-szigeteknél, az Indiai-óceánban készült.

A BOJTOSÚSZÓS HALAK CSATLAKOZNAK
Egyre inkább megegyeznek a vélemények abban, hogy legkorábban a bojtosúszós halak (amelyeknek két élő faját ismerjük) ágaztak el az izmosúszójú halak három fennmaradt rendje közül.

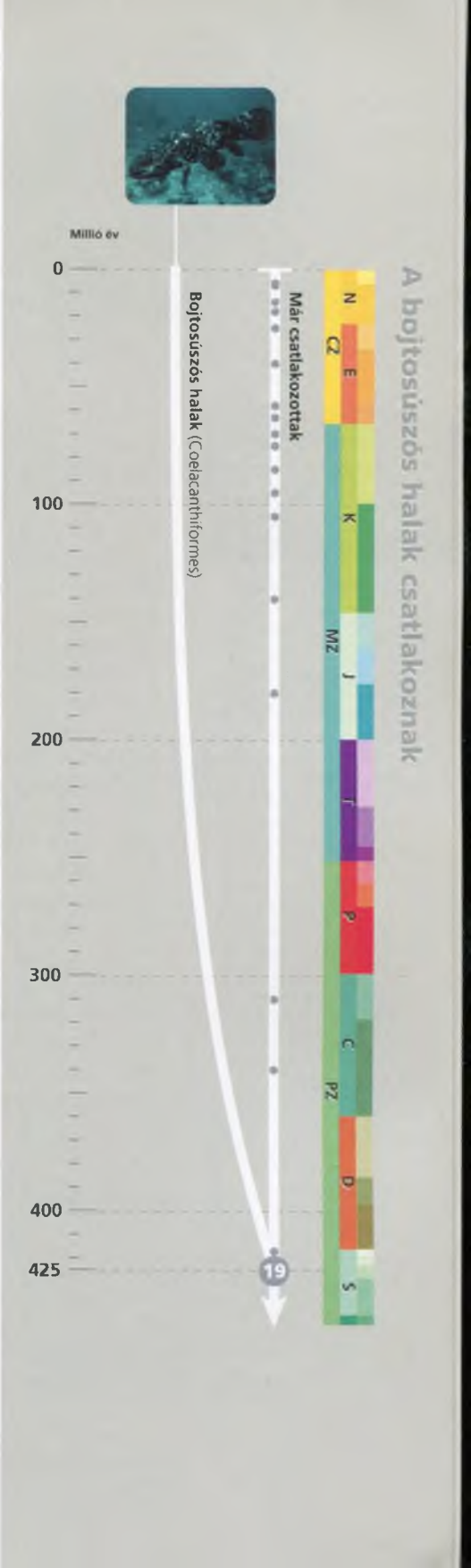
KÉP: Comore-szigeteki bojtosúszós hal *(Latimeria chalumnae)*

> Egy kék uszonyt pillantottam meg, és odébb tolva a halakat, szemem elé tárult a leggyönyörűbb hal, amit valaha láttam. Öt láb hosszú volt, és színjátszó ezüst foltok tarkította, halvány, mélyvakék színben tündökölt.

Marjorie lerajzolta a halat, és rajzát elküldte Dél-Afrika elsőszámú halbiológusának, dr. J. L. B. Smithnek, amellyel padlóra küldte a tudóst. „Akkor sem sem lepődtem volna meg jobban, ha egy utcán bandukoló dinoszauruszt pillantok meg." Sajnos Smith, nehezen megmagyarázható okból, azzal fecsérelte az idejét, hogy a helyszínre menjen. Keith Thomson beszámolója szerint Simth egészen addig nem hitt a szemének, amíg el nem küldött egy kézikönyvért, amit fokvárosi kollégája, dr. Barnard írt. Smith vonakodva bevallotta titkát Barnardnak, akiben azonnal kétely ébredt. Úgy tűnik, ez hetekkel azelőtt történt, hogy Smith rá tudta szánni magát, hogy Kelet-Londonba utazzék, és ténylegesen szemügyre vegye a halat. Eközben szegény Courtenay-Latimer a hal bűzös lebomlásával küzdött. Mivel a hal túl nagy volt ahhoz, hogy elférjen egy formalinos tégelyben, formalinba áztatott kendőkbe bugyolálta. Ezek azonban nem voltak alkalmasak a rothadás elhárítására, így végül ki kellett tömetnie a halat. Smith végül ebben a formában látta meg.

> Bojtosúszós hal, igen, úristen! Bár felkészültem, mégis, amikor először megpillantottam, mintha villámcsapás ért volna, reszketni kezdtem és elgyöngültem, a testem bizsergett. Úgy álltam ott, mintha kővé váltam volna… Minden egyebet elfeledtem, aztán csaknem félve közelebb merészkedtem, megérintettem és végigsimítottam, miközben a feleségem szótlanul nézett… és csak ezután nyertem vissza a szavam, s bár arra nem emlékszem, pontosan mit mondtam, de valami olyasmit, hogy igaz, valóban igaz, kétségtelenül egy bojtosúszós halat látunk. Már én sem kételkedhettem tovább.

Smith, Marjorie után *Latimeriá*nak nevezte el. Azóta sokat találtak már a Comore-szigeteket és Madagaszkárt övező mély vizekben, és egy másik faj is felbukkant az Indiai-óceán túlsó felében, Sulawesi partjainál. A nemet mára már alaposan megvizsgálták, bár nem minden fanyarság és a hamisítást illető vádak nélkül, amelyek úgy látszik – sajnálatosan, bár alighanem érthető okból – a ritka és igen fontos felfedezéseknek velejárói.



20. TALÁLKOZÁS ■ SUGARASÚSZÓJÚ HALAK

20

A SUGARASÚSZÓJÚ HALAK CSATLAKOZNAK
Nekünk, izmosúszósóknak legközelebbi rokonaink, a sugarasúszójú halak körülbelül annyi tudományosan leírt fajt számlálnak, mint mi – vagyis körülbelül huszonötezret. Leszármazásuk nem teljesen tisztázott, bár az világos, hogy a tok, a lapátorrú tok, a díszes sokúszós csuka, a kajmánhal és az iszaphal korán elágaztak. Az itt bemutatott törzsfa különösen bizonytalan. Éppen ezért néhány homályos csoportot le is hagytunk róla.

KÉPEK BALRÓL JOBBRA: lepényhal *(Pleuronectes platessa)*; fekete lazaállkapcsú hal *(Astronesthes niger)*; csuka *(Esox lucius)*; vöröshasú pirája *(Serrasalmus nattereri)*; kaliforniai szardella *(Engraulis mordax)*; zöld muréna *(Gymnothorax prasinus)*; floridai kajmánhal *(Lepisosteus platyrhincus)*; szibériai tok *(Acipenser baeri)*

A nagy 20. találkozásra a szilur időszak legelején, 440 millió évvel ezelőtt került sor, amikor még mindig a hideg ordovíciumból maradt jégsapka takarta a déli sarkvidéket. A 20. köz-ősünk, amit én 195 milliomodik ősszülőnknek taksálok, köt össze bennünket a valódi csontoshalaknak (Teleostei) nevezett hatalmas és sikeres csoporttal. A valódi csontoshalaké a mai gerincesek nagy sikertörténete – van vagy 23 500 fajuk. Ők mind a sós, mind az édesvíz alatti élelmiszerlánc számos szintjének meghatározó képviselői. Sikeresen hódították meg egyfelől a meleg vizű források, másfelől a sarki tengerek és a magashegyi tavak jeges vizeit. Megélnek a savas folyókban, a bűzös mocsarakban és a sós vizű tavakban egyaránt.

A „sugár" kifejezés arra utal, hogy úszóik váza hasonlít egy viktoriánus hölgy legyezőjéhez. A sugárúszók tövéből hiányzik az a húsos lebeny, amely az olyan izmosúszójú halak nevét adta, mint a bojtosúszós hal és a 18. köz-ős. A mi karjainkkal és lábainkkal ellentétben – amelyekben viszonylag kevés csont és olyan izmok találhatók, amelyek a végtagon belül egymáshoz képest függetlenül képesek mozgatni őket – a sugarasúszójú halak úszóit leginkább a test főrészében lévő izmok mozgatják. Ebben a tekintetben mi inkább az izmosúszójú halakra hasonlítunk, és így is kell tennünk, hiszen mi a szárazföldi élethez idomult izmosúszójúak vagyunk. Az izmosúszójú halaknak magukban a húsos úszókban rejlenek az izmaik, éppúgy, ahogy bicepsz és tricepsz izmaink találhatók a felsőkarunkban és „Popeye-izmaink" az alsókarunkban.

A sugarasúszójú halak – néhány különc kivételével, mint amilyen a tok és a lapátorrú tok, amelyekkel *A kacsacsőrű emlős meséjé*ben találkoztunk – többnyire valódi csontoshalak (Teleostei). Igenis helyes és illendő, hogy egy ilyen rendkívül sikeres csoport több mesével is szerepeljen, így én rá is testálom róluk szóló mondandóm nagy részét a meséikre. A valódi csontoshal zarándokok tülekedő és változatosságukban ragyogó tömegben érkeznek. E változatosság nagyságrendje ihlette *A kis cafranghal meséjét*.

A KIS CAFRANGHAL MESÉJE

A lányom kiskorában imádta arra kérni a felnőtteket, hogy rajzoljanak neki halat. Miközben én valami könyv írásával próbálkoztam, gyakran odarohant hozzám, a kezembe nyomott egy ceruzát, és egyre csak azt hajtogatta: „Rajzolj egy halat. Apa, rajzolj egy halat!" Az a rajzfilmfigura hal, amelyet megnyugtatására azonnal rajzoltam – és egyúttal az egyedüli hal, amelynek rajzolását elvárta tőlem –, mindig ugyanaz

A sugarasúszójú halak csatlakoznak










N E K J P C D S O
CZ MZ PZ

Már csatlakozottak

20

Tokok és lapátorrú tokok (Acipenseriformes)

Díszes sokúszós csukák (Polypteriformes)

Kajmánhalak (Semionotiformes)

Iszaphalak (Amiiformes)

Csontosnyelvű halak stb. (Osteoglossomorpha)

Angolnák, tarponok stb. (Elopomorpha)

Heringek, szardellák stb. (Clupeomorpha)

Pontyfélék, keszegek, piráják stb. (Ostariophysi)

Lazac, pisztráng, csuka stb. (Protacanthopterygii)

Lámpáshalak és sárkányhalak (Stenopterygii)

Sügér, lepényhal, csikóhalak stb. (Acanthopterygii)

Tőkehal, csacsihal, horgászhal (Paracanthopterygii)

Millió év

0 100 200 300 400 440

volt: egy szabályos halforma, akár egy hering vagy egy sügér, áramvonalas oldalnézetben, elöl csúcsba futó, háromszögletű uszonyokkal, hátul háromszögletű farokkal, és végül pontszemmel, amit a kopoltyúfedél félköríve zárt le. Nem hiszem, hogy a mell- vagy medenceúszókig elmerészkedtem volna, ami hanyagság volt részemről, hiszen ilyenek minden halnak vannak. A szabvány halforma valóban igen gyakori, mert nyilvánvalóan jól bevált mindenféle méretben, a keszegtől a tarponig.



NEM HÍNÁR
Kis cafranghal
(Phycodurus equus)

Vajon mit szólt volna Juliet, ha elég ügyes lettem volna ahhoz, hogy egy kis cafranghalat, egy *Phycodurus equust* rajzoljak neki? „NEM, apa, NEM hínárt! Halat rajzolj! HALAT rajzolj!" A kis cafranghal meséjének üzenete az, hogy az állati formák olyan képlékenyek, mint a gyurma. Egy hal evolúciós időléptékben olyannyira nem halalakúvá változhat, amennyire csak életmódja megköveteli. Azok a halak, amelyek a szabvány, Juliet-szabású halra hasonlítanak, csak azért ilyenek, mert ez felel meg nekik. Ez az alak jól bevált a nyílt vízben való úszáshoz. Ám ha a túlélés azon múlik, hogy mozdulatlanul lebegjen a lágyan ingó hínármezőben, a szabvány halforma úgy megtekeredhet és átgyúródhat, s oly fantasztikusan elágazó kinövésekké nyúlhat, melynek hasonlósága a barnamoszat leveleihez olyan erős, hogy a botanikusok kísértésbe eshetnek, hogy valamely (netán a *Fucus* nemzetségbe tartozó) barnamoszat-fajra szűkítsék.

A nyugati Csendes-óceán zátonyain élő csíkos borotvahal, az *Aeoliscus strigatus* ugyancsak olyan trükkösen álcázott, hogy ha ezt rajzoltam volna „halként" Julietnek, aligha lett volna elégedett. Amúgy is különösen megnyúlt testét hosszú orra még tovább nyújtja, s a hatást még fokozza a szemen át egészen a korántsem farokszerű farokig futó sötét csík. Ez a hal úgy néz ki, mint egy hosszú garnélarák, vagy kissé úgy, mint egy torokvágó borotva, amelyről a nevét is kapta. Testét áttetsző páncél borítja, és kollégám, George Barlow elmondása szerint, aki megfigyelte őket a szabadban, a tapintása is olyan, mint a garnéláraké. Hasonlósága a garnélarákhoz azonban nem az álcázás része. Sok valódi csontoshalhoz hasonlóan a borotvahalak is katonásan összehangolt csoportokban úsznak. Ám a borotvahalak bármely másik valódi csontoshaltól eltérően fordítva úsznak. Nem úgy értem, hogy függőlegesen úsznak, hanem hogy vízszintesen, de függőleges testtel. Ez az összehangolt úszás összhatásban egy hínármezőre, vagy még meghökkentőbben egy óriás tengerisün hosszú tüskéire emlékeztet, amelyek közt egyébként gyakran találnak menedéket. A fejjel lefelé való úszás szándékos döntés eredménye. Amikor veszélyben vannak, tökéletesen képesek átváltani normális vízszintes úszásmódba, és aztán meglepő sebességgel elmenekülnek.

Vagy mit szólt volna Juliet, ha egy szalonkacsőrű angolnát (Nemichthyidae), netán egy pelikánangolnát *(Eurypharynx pelecanoides)*, e két madárnevű mélytengeri

angolnát rajzolom le neki? A szalonkacsőrű angolna viccesen fest, mulatságosan hosszú és vékony, madárcsőrre emlékeztető állkapcsokkal, amelyek hangszórótölcsérként hajolnak el egymástól. Annyira haszontalannak tűnnek ezek a szétálló állkapcsok, hogy azon kell tűnődnöm, ugyan hány eleven példányát látták ennek a halnak? Nem lehet, hogy ezek a hangszórótölcsér-állkapcsok valami kiszáradt múzeumi példány torzulásai?

A pelikánangolna úgy fest, mint egy kísértet. Testéhez képest nevetségesen nagy állkapcsaival úgy tűnik, képes egészben lenyelni egy nála nagyobb zsákmányt – e figyelemre méltó tudományával csak egyike a számos hasonló mélytengeri halnak. Természetesen nem szokatlan, hogy egy ragadozó magánál nagyobb zsákmányállatokat öl meg, hogy aztán *darabokban* megegye. Az oroszlánok vagy a pókok is így tesznek.* Azt azonban nehéz elképzelni, hogyan lehet *lenyelni* egészben egy magunknál nagyobb állatot. A pelikánangolna és más mélytengeri halak – mint például a közeli rokon zsákszájú angolna és a nem rokon fekete bendőshal, amely nem angolna – megvalósítják ezt a trükköt. Mindezt a túlméretezett állkapcsok és a lazán táguló gyomor együttműködésével érik el, amely gyomor, ha teli van, úgy lóg lefelé, hogy valami hatalmas külső daganatnak tűnik. A hosszú emésztési időszak után aztán a gyomor újra összezsugorodik. Nem igazán értem, miért éppen a kígyóknak** és a mélytengeri halaknak kell hogy jellemzője legyen ez a csodás nyelési képesség. A pelikán és a zsákszájú angolna a farkuk végén lévő világítószervvel csalogatják szájuk közelébe a zsákmányukat.

A valódi csontoshalak teste csaknem végtelenül képlékenynek tűnik az evolúciós időn át, amely eltűri, hogy bármilyen alakúra kihúzzák vagy összenyomják, akármilyen messzire távolodjék is el a „szabvány" halformától. Az óceáni holdhal latin neve, a *Mola mola* annyit jelent, mint 'malomkő', s könnyű belátni, miért. Oldalról úgy néz

* A pókok nem is annyira darabokban, hanem folyékony állapotban fogyasztják el a maguknál nagyobb zsákmányt. Emésztőnedveket fecskendeznek beléjük, majd mint a szalmaszálon, kiszívják őket. Azt azonban nehéz elképzelni, hogyan lehet lenyelni egészben egy magunknál nagyobb állatot.

** A kígyók koponyájuk eltorzításával érik el ezt. Épp ezért az evés egy kígyó számára bizonyára felér egy istenítélettel, akár a nők számára a szülés.

AZ ÁLLATOK ALAKJA KÉPLÉKENY, MINT A GYURMA A valódi csontoshal formák változatossága. A bal felsőtől az óramutató járásának irányába haladva: szalonkacsőrű angolna *(Avocettina infans)*; pelikánangolna *(Eurypharynx pelecanoides)*; óceáni holdhal *(Mola mola)*; lepényhal *(Pleuronectes platessa)*; fekete bendőshal *(Chiasmodon niger)* falatozás után.







ki, mint egy hatalmas korong, amelynek átmérője elérheti a döbbenetes öt métert, súlya pedig a két tonnát. Körvonalának körkörösségét csupán egy felső és egy alsó óriási uszony töri meg, amelyek mindegyike kétméteres is lehet.

A víziló meséje, bálna unokatestvérétől való roppant különbözőségének értelmezése közben felidézte a gravitáció alóli azon felszabadulást, amelyet a bálnák élveztek, amint megszabadultak valamennyi szárazföldi köteléktől. Kétségtelenül valami hasonló magyarázza a csontos halak alakjának roppant változatosságát is. Ám e korlátozás kiaknázásában a valódi csontoshalak még egy további előnnyel rendelkeznek, mondjuk a cápákkal szemben. A valódi csontoshalak a felhajtóerővel nagyon különleges módon birkóznak meg. A csuka elmeséli, hogyan.

A CSUKA MESÉJE

Ulster szomorú tartományában, ahol „a Mourne-hegység a tengerbe nyúlik", ismerek egy gyönyörű tavat. Egy meztelen gyerekcsapat úszkált ott egyik nap, amikor valaki elkiáltotta magát, hogy egy hatalmas csukát lát. Az összes fiú abban a pillanatban a parton termett – nem így a lányok. A közönséges csuka, az *Esox lucius* a kis halak félelmetes ragadozója. Nagyszerűen álcázza magát, s nem a ragadozók ellen, hanem hogy segítségével a zsákmánya közelébe lopakodhasson. Lopakodó ragadozóként, ami nem különösebben gyors nagyobb távolságból, a csuka csaknem mozdulatlanul lebeg a vízben, észrevétlenül egyre közelebb lopakodva, míg rajtaütési távolságon belülre nem kerül. A halálos lopakodás közben a hátrafelé álló hátúszójának észrevétlen mozgásával hajtja előre magát.

Ez az egész vadászati technika azon a képességen múlik, hogy a kellő szinten képes tartani magát a vízben, mint valami kormányozható léghajó, erőfeszítés nélkül, tökéletes hidrosztatikus egyensúlyban. A teljes mozgási munka az előrelopakodás alattomos műveletére összpontosul. Ha egy csukának úsznia kellene, hogy fenntartsa a szintjét, ahogy sok cápának, akkor ez a lestechnika nem működne. A valódi csontoshalak különösen jók a hidrosztatikus egyensúly könnyed fenntartásában és kiigazításában, és ez lehet sikerük egyedüli, leglényegesebb kulcsa. Hogyan érik ezt el? Nem mással, mint az úszóhólyag, e gázzal teli, módosult tüdő segítségével, amely az állat felhajtóerejének érzékeny és dinamikus szabályozását teszi lehetővé. Néhány fenéklakó kivételével, amelyek másodlagosan szabadultak meg tőle, valamennyi valódi csontoshalnak van úszóhólyagja, nem csupán a csukának és a zsákmányának.

Az úszóhólyag működését gyakran egy Cartesius-féle búvár elvére hivatkozva magyarázzák el, pedig szerintem ez nem egészen állja meg a helyét. A Cartesius-féle búvár egy légbuborékot tartalmazó, miniatűr búvárharang, amely hidrosztatikus egyensúlyban lebeg egy palack vízben. Amikor a nyomást megnöveljük (rendszerint a dugó belenyomásával az üveg nyakába), a buborék összenyomódik, s a búvár egészében kevesebb vizet szorít ki. Ezért az Arkhimédesz-törvény értelmében a búvár süllyed. Ha a dugót egy kicsit felfelé húzzuk, az üvegben lévő nyomás csökken, a búvárban lévő buborék kitágul, több vizet szorít ki, s a búvár egy kicsit magasabbra lebeg. Így hüvelykujjunkat a dugón tartva finoman szabályozhatjuk azt a szintet, amelyen a búvár egyensúlyba kerül.

A Cartesius-féle búvár lényege, hogy a buborékban lévő levegőmolekulák száma állandó marad, míg a térfogat és a nyomás változik (a Boyle-törvény értelmében fordított arányban). Ha a halak a Cartesius-féle búvár elvén működnének, akkor izomerő használatával préselnék össze vagy lazítanák el az úszóhólyagjukat, ily módon változtatnák a nyomást, de változatlanul hagynák a molekulák számát. Elméletben ez működik, de mégsem ez történik. A molekulák számának változatlanul hagyása és a nyomás változtatása helyett a halak a molekulák számát változtatják. Süllyedéskor a halak vére gázmolekulákat vesz fel az úszóhólyagból, ezzel csökkentve annak térfogatát. Emelkedéskor éppen fordítva, gázmolekulákat bocsátanak az úszóhólyagba.

Bizonyos valódi csontoshalak esetében az úszóhólyag a hallásban is segít. Mivel a halak teste javarészt víz, a hanghullámok többnyire úgy haladnak át rajtuk, mint a vízen, mielőtt a halak testét elérték. Azonban az úszóhólyag falához érve hirtelen más közegbe, a gázba érnek, Az úszóhólyag ezért egyfajta dobhártyaként működik. Némely fajoknál közvetlenül a belső fül mellett helyezkedik el. Másoknál egy sor apró csont, a Weber-csontocskák kötik össze a belső füllel. Ezek hasonló feladatot végeznek, mint a mi kalapácsunk, üllőnk és kengyelünk, de teljesen más csontokról van szó.

Úgy tűnik, az úszóhólyag egy primitív tüdőből alakult ki – „vevődött át" –, és néhány mai vértes és csontos hal (Osteichtyes), így a naphal, a kajmánhal és a díszes sokúszós csuka még ma is használja légzésre. Ez talán némi meglepetésként hat számunkra, akiknek a levegős légzés jelentős „haladásnak" tűnik, amely a vízből szárazföldre jutásunkkal járt karöltve. Valaki még azt is feltételezheti, hogy a tüdő módosult úszóhólyag. Éppen ellenkezőleg: úgy fest, hogy a primitív légző tüdő evolúciója kétfelé ágazott, majd haladt tovább. Egyfelől magával vitte a szárazföldre a régi légzési funkciót, amit mi ma is használunk. A villa másik ága valami új és izgalmas dologgá alakult: a régi tüdő egy valódi újítássá változott – az úszóhólyaggá.

A KÚSZÓGÉB MESÉJE

Egy evolúciós zarándoklaton illendő, hogy néhány mese, bár túlélő zarándokok szájából hangzik el, ősi evolúciós események közelmúltbeli újrajátszásával foglalkozzék. A valódi csontoshalak oly sokfélék és sokoldalúak, hogy joggal számíthatunk rá, hogy esetleg némelyikük eljátssza a tüdős hal történetének egynémely epizódját, és kimerészkedik a szárazföldre. A kúszógéb éppen ilyen, vizet elhagyó hal, amely ma is él, hogy elmesélje a történetét.

Számos valódi csontoshal él oxigénben szegény, mocsaras vízben. Kopoltyúikkal nem jutnak elegendő oxigénhez, így a levegőből nyert segítségre szorulnak. Ismert akváriumi hal Délkelet-Ázsia mocsaraiból például a sziámi harcoshal, a *Betta splendens,* amely gyakran felbukkan a felszínre, hogy levegőt nyeljen, de továbbra is a kopoltyúival vonja ki az oxigént. Mivel a kopoltyúk nedvesek, felteszem, van, aki azt mondaná, hogy a levegőnyelés megfelel annak, hogy helyileg oxigénnel tölti föl a kopoltyúvizet, ahhoz hasonlóan, ahogy akváriumunkon levegőt bugyogtatunk át. Ez a hal azonban ennél továbbmegy, mivel kopoltyúkamrája egy véredényekkel

dúsan behálózott kiegészítő légtérrel van ellátva. Ez az üreg nem igazi tüdő. A tüdőnek a csontos halaknál igazából az úszóhólyag felel meg, amit, miként azt *A csuka meséjé*ből megtudtuk, ők a felhajtóerejük semlegesítésére használnak.

Azok a halak, amelyek kopoltyúkamrájukon át lélegeznek, teljesen más úton fedezték fel újra a levegőből való légzést. A levegőt lélegző kopoltyúkamra talán legkifejlettebb képviselőjével az ázsiai mászóhalak, az *Anabas*ok rendelkeznek. Ezek a halak is oxigénben szegény vizekben élnek, és az a szokásuk, hogy amikor korábbi otthonuk kiszárad, a szárazföldre kimászva keresnek új vizet. Akár napokig is életben maradnak a vízen kívül. Az *Anabas* valójában eleven, lélegző példája annak, amiről Romer beszélt arról alkotott (ma már kevéssé divatos) elméletében, hogy miként jöttek ki a halak a szárazföldre.

A sétáló valódi csontoshalak másik példája a kúszógéb, a *Periophthalmus*, amelynek meséjét olvassuk éppen. Némely kúszógéb valóban többet időzik a parton, mint a vízben. Rovarokkal és pókokkal táplálkoznak, amelyek rendesen nem találhatók meg a tengerben. Lehetséges, hogy devoni elődeink hasonló előnyöket élveztek, amikor először hagyták el a vizet, hiszen a szárazföldön mind a rovarok, mind a pókok megelőzték őket. A kúszógéb dobálja a testét keresztül az iszapon, de képes mell-/karúszóin is mászni, amelyeknek izmai olyan fejlettek, hogy megbírják a hal súlyát. Valójában a kúszógéb udvarlása is részben a parton zajlik, ahol a hímek némely hím gyíkok módjára fekvőtámasz-gyakorlatokat végeznek, hogy így mutassák meg a nőstényeknek aranyos állukat és torkukat. Az úszó váza is konvergensen alakult, hogy hasonlítson az olyan négylábúakéra, mint amilyen például a szalamandra.

A kúszógébek több mint fél méterre is elugranak úgy, hogy egyik oldalra behajlítják a testüket, majd hirtelen kiegyenesítik – erről kapták számos népies nevüket, úgymint „iszapbolha", „ugrójancsi", „békahal" és „kenguruhal". Másik gyakori neve, a „mászóhal" abból a szokásából fakad, hogy zsákmányt keresve felmászik a mangrovefákra. A mellúszóikkal kapaszkodnak a fára, amit az könnyít meg, hogy a test alatt összefont medenceúszóival támasztja meg magát.

A már említett mocsári halakhoz hasonlóan a kúszógéb is nedves kopoltyúkamráiba beszívott levegővel lélegzik. Emellett a bőrén át is vesz fel oxigént, amit szintén nedvesen kell tartania. Ha a kúszógébet a kiszáradás veszélye fenyegeti, meg-



Nagyjából olyan, mint egy kiskutya? Kúszógéb *(Periophthalmus)*, Borneó

hempergőzik egy tócsában. Szemei különösek érzékenyek a kiszáradásra, így nedves uszonyaival gyakran megtörli őket. Szemei a fejtetőn egymás közelében domborodnak elő, így akárcsak a békák vagy a krokodilok, a víz fölé dugott periszkópként is használhatja őket, amikor a hal a víz alatt tartózkodik. Amikor a szárazföldön időzik, a kúszógéb gyakran visszahúzza kiguvadó szemét a tartójába, hogy megnedvesítse. Mielőtt szárazföldi bevetés végett elhagyná a vizet, kopoltyúüregeit feltölti vízzel.

Az egyik népszerű, a szárazföld meghódításáról szóló könyvben a szerző említést tesz egy Indonéziában élt, tizennyolcadik századi művészről, aki egyszer három napig tartott életben a házában egy „békahalat".

Nagyjából olyan nagy bizalommal követett mindenüvé, mint egy kiskutya.

A könyvben van is egy rajz a „békahalról", amely úgy megy, mint egy kiskutya, ám a kép valójában egyértelműen egy horgászhalat ábrázol: azt a mélytengeri halat, amely a feje fölé felhajtott gerince végén lévő csalival fogja a kisebb halakat. Azt gyanítom, hogy a rajzoló félreértés áldozatává vált: tanulságos félreértésé, mert azt mutatja, mi történhet, ha az állatok hétköznapi közneveire támaszkodunk tudományos nevük helyett, amelyeket minden hibájuk ellenére egyedinek szántak. Való igaz, hogy némelyek békahalnak nevezik a horgászhalat. Ám erősen valószínűtlen, hogy az a hal, amelyik kutyaként követte a művészt, egy mélytengeri horgászhal lett volna. Annál könnyebben lehetett viszont egy kúszógéb. Azok éppen Indonéziában is élnek, és egyik hétköznapi nevük a békahal. A kúszógéb legalábbis az én szememben sokkal inkább hasonlít egy békára, mint amely hasonlóságra egy horgászhal valaha is képes lehet, és úgy is ugrik, mint egy béka. Azt gyanítom tehát, hogy a művész házi „békahala", amely kiskutyaként járt a nyomában, egy kúszógéb volt.

Nekem tetszik az az ötlet, hogy valami olyan lénytől származunk, amely – még ha sok más tekintetben különbözött is egy mai kúszógébtől – éppen oly kalandozó és vállalkozó kedvű volt, mint egy kiskutya: talán ez a kutyához leginkább hasonlító dolog mindenek közül, amit a devon időszak fel tudott mutatni. Egy régi barátnőm így magyarázta, miért szereti a kutyákat: „A kutyák olyan jó cimborák." Azt hiszem, az első halak, amelyek kimerészkedtek a szárazföldre, minden bizonnyal a jó cimborák olyan archetípusai voltak, amiket örömmel neveznénk őseinknek.

A BÖLCSŐSZÁJÚ HAL MESÉJE

A Viktória-tó a világ harmadik legnagyobb tava, és ugyanakkor az egyik legfiatalabb is. A geológiai bizonyítékok szerint mindössze százezer éves. Ez a tó nagyszámú endemikus (őshonos) bölcsőszájú halnak ad otthont. Az őshonos azt jelenti, hogy ezek kizárólag csak a Viktória-tóban találhatók, és feltehetően ott is alakultak ki. Attól függően, hogy halbiológusunk felhalmozó vagy feldaraboló típus-e, a Viktória-tó bölcsőszájúhal-fajainak számát 200 és 500 közé teszik, míg egy újabb mérvadó becslés 450-es számot emleget. Ezen őshonos fajok nagy többsége egyetlen törzsbe, a Haplochrominaebe tartozik. Úgy tűnik, mintha valamennyien egyetlen „fajcsaládként" nagyjából az utóbbi százezer év alatt fejlődtek volna ki.

Ahogy *A szűkszájú meséjé*ben láttuk, az egyetlen faj evolúciós kettéhasadását fajképződésnek nevezzük. A Viktória-tó fiatal kora leginkább azzal lep meg bennünket, hogy ez a fajképződés döbbenetesen magas arányára utal. Arra is van bizonyíték, hogy a tó tizenötezer éve teljesen kiszáradt, így némelyek arra a következtetésre jutottak, hogy ennek a 450 őshonos fajnak egyetlen alapítóból e meghökkentően rövid időszak alatt kellett kifejlődnie. Miként meglátjuk, ez feltehetően túlzás. Ám mindenesetre egy kis számítás segít abban, hogy ezeket rövid időszakokat megfelelő távlatba helyezzük. Milyen fajképződési sebesség szükséges ahhoz, hogy százezer év alatt 450 faj jöjjön létre? A fajképződés legszaporább módja elméletben a megkettőződések sorozta lenne. Ebben az idealizált esetben egy ősi faj két leányfajnak adna életet, melyek mindegyike kétfelé válna, majd azok a hasadások is kétfelé ágaznának és így tovább. A fajképződésnek ezt a legtermékenyebb („exponenciális") módját követve egy ősi faj könnyedén teremthetne 450 fajt százezer év alatt, az egyes ágazatokon belüli fajképződések közötti, meglehetősen hosszúnak tűnő tízezer éves szünetek beiktatásával. Bármely mai bölcsőszájú hal zarándokkal kezdve a visszafelé haladást, csak tíz találkozásra kerülne sor százezer év alatt.

Természetesen erősen valószínűtlen, hogy a valóságos fajképződés ténylegesen követné az egymást követő megkettőződés eszményi mintáját. Az ellenkező véglet az a minta lenne, amelyben az alapító faj egymás után egy-egy leányfajt bocsátana útjára úgy, hogy ezután egyetlen leányfajból sem fejlődnének új fajok. A fajképződésnek ezt a legkevésbé termékeny módját követve ahhoz, hogy 450 fajt kapjunk százezer év alatt, a fajképződési események között néhány évszázadnak kellene lennie. Még ez sem hangzik nevetségesen rövidnek. Az igazság nyilván e két véglet között helyezkedik el: mondjuk egy vagy néhány évezrednyi átlagos szünetekkel a fajképződési események között minden vonalon. Ha így számolunk, a fajképződési sebesség egyáltalán nem tűnik túl magasnak, különösen az olyan ütemű evolúció fényében, mint amilyet *A galápagosi pinty meséjé*ben láttunk. Folyamatos fajképződési mutatványként ez mégis túl gyors és szapora lenne a szabvány evolucionista elvárásaihoz képest, éppen ezért a bölcsőszájú halak és a Viktória-tó legendássá váltak a biológusok körében.*

A Tanganyika- és a Malawi-tó alig kisebbek a Viktória-tónál – és csak a területük kisebb, hiszen míg a Viktória-tó egy széles, sekély medence, addig a Tanganyika és a Malawi a Rift-völgyben fekszenek: hosszúak, keskenyek és nagyon mélyek. Nem olyan fiatalok, mint a Viktória-tó. A Malawi-tó – amelyet nosztalgikusan említettem már mint első „tengerparti" nyaralásom színhelyét – egy-két millió éves lehet. A Tanganyika-tó 12–14 millió évével a legöregebb. E különbségek ellenére mindhárom tóban közös az a figyelemre méltó tulajdonság, amely e mesét ihlette. Valamennyi a csakis arra a tóra jellemző őshonos bölcsőszájú halfajok százaitól nyüzsög. A Viktória-tó bölcsőszájúi teljesen eltérő fajállományt képviselnek, mint a Tanganyika-tóéi, és a Malawi bölcsőszájúi is teljesen eltérnek mindkettőtől. Mégis e három, több száz fajból álló állomány a saját tóban zajló konvergens evolúcióval rendkívül hasonló fajtípusokat termelt ki. Úgy tűnik, mintha egyetlen alapító *Haplochromis*-faj (vagy nagyon kevés) jutott volna be mindegyik fiatal tóba, talán egy folyóból. Ilyen szerény kezdetekből egymást követő evolúciós szétválások, a „fajképződési események" – bölcsőszájú fajok százait hozták létre, amelyek fajtípusai közeli párhuzamokat mutatnak egymással mindegyik nagy tóban.

* A Viktória-tó az ember előidézte katasztrófa áldozatává vált. 1954-ben a brit gyarmati közigazgatás a halászat fellendítésének reményében betelepítette a tóba a nílusi sügért (Lates niloticus). A biológusok, akik megjósolták, hogy a sügér tönkreteheti a tó páratlan ökológiai rendszerét, ellenezték a döntést. Jóslatuk katasztrofálisan bebizonyosodott. A bölcsőszájú hal soha nem fejlődött úgy, hogy megbirkózzék egy olyan nagy ragadozóval, mint a nílusi sügér. Mintegy 50 bölcsőszájúfaj tűnt el örökre, és további 130 került vészesen veszélybe. Egy teljességgel elkerülhető hanyagság mindössze fél évszázad alatt teljesen tönkretette a helyi gazdaságokat a tó körül, és visszafordíthatatlanul kiirtott egy felbecsülhetetlen értékű tudományos forrást.

Ezt a fajta gyors és számos különböző típusban megnyilvánuló változatossá válást nevezzük „adaptív radiációnak". Darwin pintyei jelentik az adaptív radiáció másik híres példáját, míg az afrikai bölcsőszájú halak esete azért különös, mert háromszor ismétlődött meg.*

Az egyes tavak változatainak nagy része a táplálkozással kapcsolatos. Mindhárom tónak megvannak a maguk planktonevő specialistái, a sziklák algáit legelésző specialistái, a többi halak ragadozói, hulladékevői, táplálékrablói, halikraevői. Még a takarítóhalak párhuzamait is megtaláljuk itt, amelyek a trópusi korallzátonyhalak köréből jobban ismertek (lásd *A korallpolip meséjét*). A bölcsőszájú halaknak bonyolult, kettős állkapocsrendszerük van. A szokványos külső állkapocs mellett, amit láthatunk, van egy mélyen a torokban eltemetett „garatállkapocs"-készlete is. Valószínűleg ez az újítás tette alkalmassá a bölcsőszájú halakat táplálkozási sokoldalúságukra és így arra a képességükre, hogy megismétlődve sokasodjanak a nagy afrikai tavakban.



Háromszoros adaptív radiáció
Zebra bölcsőszájú hal *(Metriaclima zebra)*, Malawi-tó

Magasabb koruk ellenére a Tanganyika- és Malawi-tóban nem él számottevően több faj, mint a Viktória-tóban. Olyan ez, mintha mindegyik tó elérne egy határt a fajok számának bizonyos egyensúlya révén, és e szám az idő elteltével nem növekszik, sőt esetleg csökkenhet is. A Tanganyika-tóban, a három tó legöregebbikében él a legkevesebb faj. A Malawi-tóban, amely a köztes állapot, él a legtöbb. Valószínű, hogy mindhárom tó a Viktória-tó igen szerény kezdetekből induló, rendkívül gyors fajképződésének mintáját követte, amelynek során az első néhány százezer év alatt több száz új, őshonos faj keletkezett.

A szűkszájú meséje érintette a fajképződés mikéntjének kedvenc elméletét, a földrajzi elszigetelődés elméletét. Nem ez az egyedüli, és a különböző esetekben többnek is igaza lehet. Az „átfedési fajképződésre", az azonos földrajzi területen élő populáció különböző fajokra történő szétválására ugyancsak sor kerülhet bizonyos körülmények között, különösen a rovarok esetében, ahol ez lehet a norma. Az átfedési fajképződésre a bölcsőszájú halak esetében kis krátertavakból van bizonyíték. Ám a fajképződés földrajzi elkülönülési modellje itt is meghatározó, így e mese hátralevő részét is ez uralja.

A földrajzi elszigetelődés elmélete szerint a fajképződés azzal kezdődik, hogy egyetlen ősi faj földrajzilag véletlenül két külön populációra válik szét. Nem lévén alkalmuk a kereszteződésre, a két populáció elsodródik egymástól, vagy a természetes kiválasztódás készteti különböző fejlődési irányokba. Később, ha az elválást követően összefutnak, vagy nem tudtak kereszteződni, vagy nem is hajlanak rá. Gyakran valami különleges jellegről ismerik föl, és gondosan kerülik a jegy birtokában nem levő hasonló fajokat.*

Egy különösen takaros kísérletet végzett éppen a bölcsőszájú halakkal a jelenleg a Hulli Egyetemen dolgozó Ole Seehausen és kollégája, Jacques van Alphen a Leideni Egyetemről. Két egymással rokon bölcsőszájú-fajt szemeltek ki a Viktória-tóból, a *Pundamilia pundamiliát* és a *P. nyererei*t (amelyet a nagy afrikai vezetőről, a

* Az egész témát részletesen taglalja Dolph Schluter legutóbbi könyve: a *The Ecology of Adaptive Radiation* (Az adaptív radiáció ökológiája).

* A természetes szelekció bünteti a rossz fajjal párosodást, különösen azoknál a fajoknál, amelyek a kísértéshez és a fennmaradó hibrid utódok nemzéséhez – melyek felemésztik a költséges szülői erőforrásokat, hogy aztán kiderüljön, hogy terméketlenek, mint az öszvér – elég közel állnak egymáshoz. Sok zoológus értelmezi úgy az udvarlási mutogatást, mint amelynek célja főként a téves fogamzás elkerülése. Lehet, hogy ez túlzás, és vannak egyéb fontos szelekciós nyomások is, amelyek rajtahagyják bélyegüket az udvarláson. Ettől függetlenül talán mégis helyes bizonyos udvarlási tetszelgések, bizonyos feltűnő színek és egyéb nyilvánvaló reklámok „szaporodási elszigetelő megnyilvánulásokként" történő értelmezése, amelyek a hibridizáció elleni kiválasztódás során alakultak ki.

tanzániai Julius Nyerere*ről* neveztek el). A két faj igen hasonló, eltekintve attól, hogy míg a *P. nyererei* vöröses, addig a *P. pundamilia* kékes árnyalatú. Normál körülmények között a választási tesztben a nőstények saját fajuk hímjeivel párosodtak. Ám ekkor Seehausen és Van Alphen a döntő tesztjükre kerítettek sort. Ugyanazt a választási lehetőséget ajánlották fel a nőstényeknek, de mesterséges, monochromatikus fényben. Márpedig ez drámai dolgokat művel a látott színnel, ahogy magam is élénken emlékszem salisburyi diákéveimből, melynek utcáit történetesen nátriumfénnyel világították meg. Élénkvörös sapkáink és az élénkvörös buszok mind rozsdabarnának tűntek. Éppen ez történt mind a vörös, mind a kék *Pundamilia* hímekkel Seehausen és Van Alphen kísérletében. A vörös és a kék egyaránt rozsdabarnára változott a fehér fényben. És az eredmény? A nőstények nem tettek különbséget köztük, és válogatás nélkül párosodtak. Az e nászokból származó utódok teljesen termékenyek voltak, ami arra utalt, hogy e fajok és a hibridizáció között egyedül a nőstények választása áll.* Ha a két faj egy kissé jobban különbözne, utódaik az ösvérekhez hasonlóan talán terméketlenek lennének. Az elkülönülési folyamat későbbi szakaszában az elszigetelt populációk mégis elérik azt a pontot, ahol nem tudnának keveredni, még ha akarnának sem.

* *A sáska meséje* hasonló példát említ.

Bármi is a szétválás alapja, a keveredés kudarca meghatároz egy olyan népességpárt, amely különböző fajokhoz tartozik. A két faj mindegyike most már szabadon alakul külön, szabadon a másik faj génjei általi szennyeződéstől, még akkor is, ha az ilyen szennyeződés eredeti földrajzi gátjai többé már nem léteznek. A földrajzi gátak (vagy az ezeknek megfelelő egyéb tényezők) eredeti közbeavatkozása nélkül a fajok soha nem specializálódhattak volna egy meghatározott étrendre, élőhelyre vagy viselkedésmódra. Vegyük figyelembe, hogy a „közbeavatkozás" nem szükségszerűen jelenti, hogy maga a földrajz okozta az aktív változást úgy, mint amikor egy völgyet víz áraszt el, vagy kitör egy vulkán. Ugyanez a hatás érhető el, ha földrajzi gátak álnak fel, méghozzá elég szélesek ahhoz, hogy akadályozzák a génáramlást, de nem annyira félelmetesek, hogy valamely alapító népesség soha ne szelhetné át. *A dodó meséjében* találkoztunk olyan szórványos egyedekkel, amelyek eléggé szerencsések voltak ahhoz, hogy eljussanak egy távoli szigetre, ahol szülőpopulációjuktól elszigetelten szaporodtak tovább.

Az olyan szigetek, mint Mauritius vagy Galápagos a földrajzi elkülönülés klaszszikus példái, ám a szigetek nem szükségszerűen jelentenek vízzel körülvett szárazföldet. Amikor a fajképződésről beszélünk, „szigetnek" kezd számítani az állat szempontjából meghatározott bármifajta tenyészterület. Nem véletlenül *Island Africa* (Afrika-sziget) a címe Jonathan Kingdon afrikai ökológiáról szóló gyönyörű könyvének. Egy hal szemében egy tó a sziget. Akkor hát hogyan tudott több száz új halfaj elágazni egyetlen őstől, ha egyszer valamennyien ugyanabban a tóban élnek?

Az egyik válasz az, hogy a halak szempontjából egy nagy tavon belül sok kicsi „sziget" található. Mindhárom nagy kelet-afrikai tóban találhatók elszigetelt zátonyok. A „zátony" itt természetesen nem korallzátonyt jelent, hanem olyan „keskeny gerincet vagy kő-, kavics-, illetve homokhátat, amely a víz felszínén vagy annak közelében húzódik" *(Oxford English Dictionary)*. Ezeket a zátonyokat alga borítja, amelyen sokfajta bölcsőszájú hal él. Egy bölcsőszájú számára egy zátony nagyon is alkothat „szigetet", amit a másik zátonytól mély víz választ el, mégpedig elég nagy távolságra ahhoz, hogy gátat állítson a génáram útjába. Még ha képesek is átúszni

egyikről a másikra, ezt nem akarják. Genetikai bizonyítékok támasztják ezt alá a Malawi-tóban végzett vizsgálatok alapján, amelyek során egyetlen bölcsőszájúfajtól, a *Labeotropheus fuelleborni*tól vettek mintákat. Egy nagy zátony szemközti végein élő egyedek génmegoszlása közös volt, vagyis bőségesen áramlottak a gének a zátony mentén. Ám amikor a vizsgálatot végzők ugyanabból a fajból, ám egy másik zátonyról vettek mintákat, amit mély víz választott el, jelentős szín- és génbeli különbségeket észleltek. A két kilométeres szakadék elegendőnek bizonyult ahhoz, hogy mérhető genetikai eltérést okozzon; és minél nagyobb a fizikai szakadék, annál nagyobb a genetikai is. További bizonyítékok származnak egy „természetes kísérlet" nyomán a Tanganyika-tóból. Az 1970-es évek elején egy heves vihar a legközelebbi szomszédjától 14 kilométerre egy új zátonyt hozott létre. Ennek elsőrendű élőhelynek kellett volna lennie egy zátonylakó bölcsőszájú hal számára, ám amikor több évvel később megvizsgálták a zátonyt, még egyetlen hal sem érkezett. A halak szemszögéből egyértelműen léteznek „szigetek" ezekben a nagy tavakban.

A fajképződéshez olyan populációk szükségesek, amelyek eléggé elszigeteltek ahhoz, hogy a génáram ritka legyen, de nem annyira elszigeteltek, hogy egyáltalán ne érkezhessék alapító egyed. A fajképződés receptje eszerint: „Áramoljanak a gének, de ne nagyon." Ez az egyik fejezet címe George Barlow *The Cichlid Fishes* (A bölcsőszájú halak) című könyvében, amely e mese írása közben a legfőbb ihletőm volt. Ez a fejezet egy, a Malawi-tóban végzett másik genetikai vizsgálatot ír le, amely egymástól egy és két kilométer távolságban fekvő négy szomszédos zátonyt lakó, négy bölcsőszájú halfajra terjedt ki. A helyi nyelven *mbuná*nak nevezett négy halfaj mind a négy zátonyon jelen volt. Mind a négy fajon belül genetikai különbségek jelentkeztek a négy zátony között. A gének megoszlásának gondos elemzése azt mutatta, hogy valóban csörgedezett egy génpatak a négy zátony között, egy nagyon vékony patak – ami megfelel a fajképződés tökéletes receptjének.

Íme, itt egy másik út, amelyen a fajképződés megtörténhetett, mégpedig olyan, amely különösen a Viktória-tó esetében tűnik elfogadhatónak. Az iszap szénizotópos kormeghatározása szerint a Viktória-tó 15 000 évvel ezelőtt kiszáradt. A mezopotámiai korai földműveseket nem sokkal megelőző *Homo sapiens* száraz lábbal juthatott el a kenyai Kisumuból egyenesen a tanzániai Bukobába, amely ma 300 kilométeres hajóút a tekintélyes méretű MV *Victorián*, vagy népszerű nevén, az 'Afrika Királynőjén'. Ez egy rendkívül közeli kiszáradás volt, de ki a megmondhatója, hányszor száradt ki és töltődött föl újra, töltődött föl és száradt ki a Viktória-medence az azt megelőző évezredek alatt? Évezredek időskáláján a vízszint úgy ingadozhatott, mint egy jojó.

Most a földrajzi elszigetelődésre épülő fajképződés elméletével együtt tartsuk a fentieket észben. Mi marad a Viktória-tó időnkénti kiszáradását követően? Lehet sivatag, ha a kiszáradás teljes. Ám a részleges kiszáradás nyomán a medence mélyedéseiben maradhatnak elszórt tavak és tócsák. Az e kis tavakban rekedt halak számára tökéletes alkalom kínálkozik arra, hogy fejlődésük eltérjen a többi tavacskában rekedt kollégáikétól, és külön fajjá váljanak. Aztán, amikor a medencét megint elborítja a víz, és helyreáll a nagyobb tó, az újonnan kialakult fajok mind kiúszhatnak, hogy csatlakozzanak a nagyobb Viktória-faunához. Aztán, amikor a jojó legközelebb újra lemegy, már másik fajkészlet találta magát elszigetelve saját kisebb menedékében. Lám, ez is mily csodás receptje a fajképződésnek.

A mitokondriális DNS-bizonyítékok alátámasztják az ingadozó vízszint ezen elméletét az idősebb Tanganyika-tó vonatkozásában is. Bár ez egy mély ároktó, és nem olyan sekély medence, mint a Viktória, bizonyított, hogy a Tanganyika vízszintje volt már sokkal alacsonyabb is, amikor három közepes nagyságú, elkülönült tóra szakadt. A genetikai bizonyítékok szerint a bölcsőhalak korán három csoportra váltak, feltehetően a három régi tó medrében, amit a jelenlegi nagy tó kialakulása után újabb fajképződés követett.

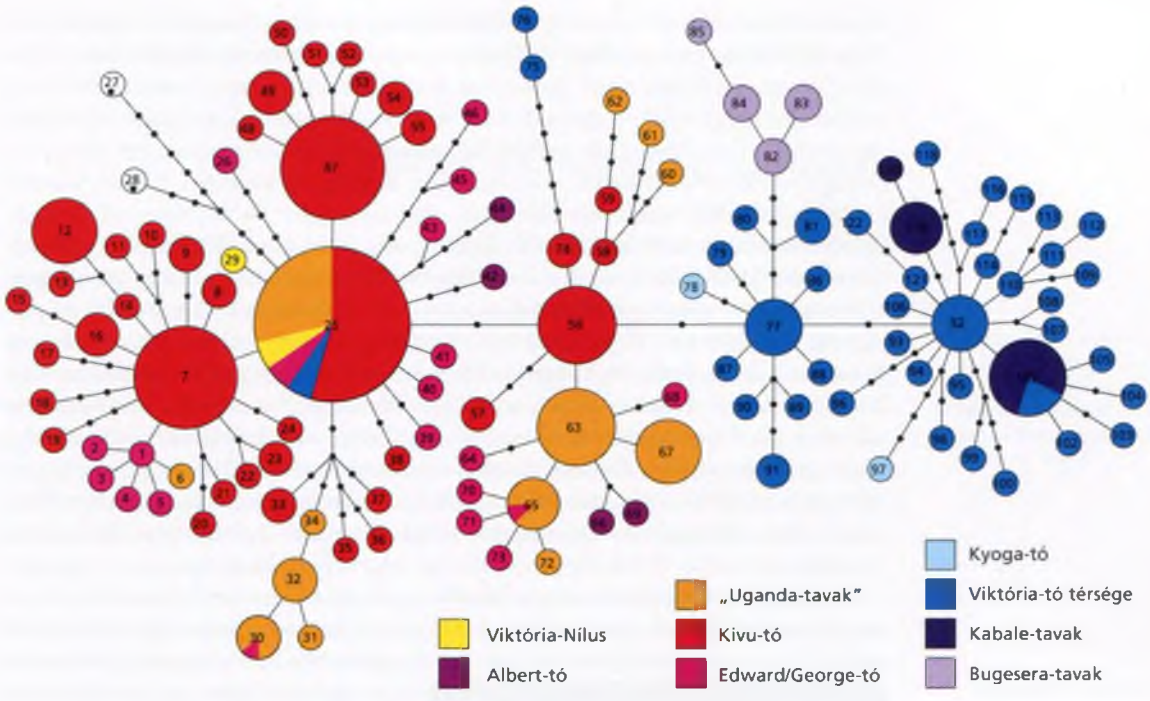
A Viktória-tó esetében Erik Verheyen, Walter Salzburger, Jos Snoeks és Axel Meyer végezték el a Haplochrominae bölcsőszájú halak igen alapos vizsgálatát nemcsak a főtóban, hanem a szomszédos folyókban, valamint a Kivu, az Edward, a George, az Albert és más környező tavakban is. Kimutatták, hogy a Viktóriában és kisebb szomszédjaiban mindben megtalálható egy monofiletikus „fajcsalád", amelynek szétválása körülbelül százezer éve kezdődött el. Ez az alapos vizsgálat felhasználta mindazokat a módszereket, amelyekkel *A gibbon meséjé*ben találkoztunk, vagyis a takarékosság, a maximális valószínűség és a bayesianus elemzés módszereit. Verheyen és munkatársai e halak mitokondriális DNS-éből vett 122 haplotípus eloszlását vizsgálták a tavakban és a környező folyókban. A haplotípus, miként azt *Éva meséjé*ben láttuk, egy olyan DNS-szekvencia, amely elég hosszú ahhoz, hogy újra és újra felismerhető legyen még az esetleg különböző fajokhoz tartozó egyedek sokaságában is. Az egyszerűség kedvéért a *gén* szót használom a haplotípus megközelítő szinonimájaként (bár a tisztaságmániás genetikusok ezt nem tennék). A tudósok ideiglenesen nem vették figyelembe a fajokat. Valójában tavakban és folyókban úszkáló géneket képzeltek el, és megszámolták, milyen gyakran teszik ezt.

Nem nehéz félreérteni azt a szemközt látható, gyönyörű ábrát, amellyel Verheyen és munkatársai összefoglalták a munkájukat. Kísértő lehet az a gondolat, hogy a fajokat képviselő körök, a családfákhoz hasonlóan, szülőfajok körül csoportosulnak. Vagy hogy nagyobb tavak körül elhelyezkedő kisebb tavaknak felelnek meg, mint valami (kétéltű!) légitársaság célállomás-hálózatának stilizált útvonaltérképén. Ezek az elgondolások még csak meg sem közelítik azt, amit az ábra kifejez. A körök nem fajok, és nem is földrajzi csomópontok. Mindegyik egy-egy haplotípus: egy-egy „gén", egy bizonyos hosszúságú DNS, amit az egyes halak vagy birtokolnak, vagy nem birtokolnak.

Tehát az egyes géneket egy-egy kör képviseli. A kör területe megfelel az adott gént a felmért tavakban birtokló egyedek számának, *fajuktól függetlenül*. A kis körök olyan géneket képviselnek, amelyeket csupán egyetlen egyedben találtak meg. A 25. gén körének a területe a legnagyobb, 34 egyedben fordult elő. A két kört összekötő vonalon elhelyezkedő körök vagy pontok azt a minimális mutációszámot jelképezik, amely ahhoz szükséges, hogy egyikből a másikhoz jussunk. *A gibbon meséje* alapján ráismerünk, hogy itt a takarékossági elemzés egyik formájáról van szó.* A kis fekete pontok olyan átmeneti géneket jelentenek, amelyek a valóságos halakban már nem találhatók meg, de következtetés alapján valószínűleg léteztek az evolúció folyamán. Az ábrán gyökértelen fát látunk, amely nem kötelezte el magát az evolúció iránya mellett.

* Némileg könnyebb, mint a távolabbi rokonságban álló gének esetében, hiszen az átmenetek még tetten érhetők.

A földrajz csak a színkódban lép be az ábrába. Minden kör egyúttal tortadiagram, amely azt is mutatja, hogy a szóban forgó gén hányszor fordult elő a felmért tavakban és folyókban (lásd az ábra jobb oldali sarkában található színmagyarázatot). A 12, 47, 7 és 56-os számokkal jelölt gének csak a Kivu-tóban fordultak elő (tiszta piros



Gyökértelen haplotípus-hálózat Verheyen et al. alapján [295].

körök). A 77 és 92-es géneket csak a Viktória-tóban találták meg (tiszta kék). A 25. gén, a legszámosabb valamennyi közül, többnyire a Kivu-tóban bukkant fel, de jelentős számban akadtak rá az „Uganda-tavakban" is (egymáshoz közeli, kis tavak csoportja a Viktória-tótól nyugatra). A tortadiagram jelzi, hogy a 25. gén a Viktória-Nílusban, magában a Viktória-tóban, az Edward/George-tóban (e két szomszédos kis tavat a számoláskor egynek vették) is felbukkant. Még egyszer mondom, ne feledjük, hogy a diagram egyáltalán nem tartalmaz információt a fajokról. A 25. gén körének kék tortaszeletje azt jelzi, hogy a Viktória-tóban két egyedben fordult elő ez a gén. Arra semmi sem utal, hogy e két egyed azonos fajba tartozott-e, netán ugyanabba, mint a Kivu-tó azon egyedei, amelyek szintén hordozták ezt a gént. Ez a diagram nem erről szól. Ez olyan diagram, amely örömére szolgál mindenkinek, aki lelkesedik az önző génért.

Az eredmény rendkívül sokatmondó. Kiderül, hogy a kis Kivu-tó a forrása az egész fajcsaládnak. A genetikai jelek megmutatják, hogy a Viktória-tó két különböző alkalommal kapott Haplochrominae bölcsőszájú hal „oltást" a Kivu-tóból. A 15 000 évvel ezelőtti nagy kiszáradás semmi esetre sem szüntette meg a fajcsaládot, sőt nagy valószínűséggel még gyarapította is oly módon, ahogy épp az imént képzeltük, vagyis hogy a Viktória-medence kis tavak „Finnországává" vált. Ami pedig magának a Kivu-tó régebbi bölcsőszájú népességének eredetét illeti (ma 26 faj van itt, köztük 15 őshonos Haplochrominae), a genetikai orákulum azt mondja, hogy ezek a tanzániai folyókból érkeztek.

Ez a munka éppen csak a kezdeteknél jár. A képzelet először meghunyászkodik, majd szárnyal, amint elgondolkodunk azon, milyen eredményeket kapunk, amikor

ilyen módszereket rutinszerűen alkalmaznak majd nem csupán az afrikai tavak bölcsőszájú halaira, hanem bármely élőhely-„szigetvilág" bármely állatlakójára.

A BARLANGI VAKLAZAC MESÉJE

Különféle állatok utat találtak sötét barlangokba is, ahol az életfeltételek nyilvánvalóan rendkívül különböznek a kinti világétól. Számos állatcsoport, így laposférgek, rovarok, rákok, szalamandrák és halak barlanglakói alakították ki ugyanazokat a tulajdonságokat egymástól függetlenül és ismétlődően. Ezek némelyike előremutatónak tekinthető, így a késleltetett szaporodás, a kevesebb, de nagyobb tojás, valamint a hosszabb élet. A barlangi állatok nyilván hasznavehetetlen szemük kárpótlásaként növelték ízlelési és szaglási érzékszerveik hatókörét, vagyis távérzékelők, továbbá a barlangi halak esetében fokozódott oldalvonalrendszerük hatékonysága (ez a mi érzékelőképességeinket meghaladó, de a halak számára igen jelentős nyomásérzékelő szerv). Más változásokat regresszívnek szokás tekinteni. A barlanglakók általában elveszítik szemeiket és bőrpigmentjeiket, így vakok és fehérek.

A mexikói barlangi vaklazac, az *Astyanax mexicanus* (amely *A. fasciatus*ként is ismert) azért különösen figyelemre méltó, mert ugyanazon a fajon belüli különböző populációk jutottak el egymástól függetlenül, patakokon át barlangokba, és estek át igen gyorsan olyan, a barlangi élettel összefüggő közös, regresszív változásokon, amelyeket közvetlenül összehasonlíthatunk a továbbra is kint élő fajtársak vonásaival. Ezek a mexikói barlangi vaklazacok kizárólag egy bizonyos mexikói völgy többnyire mészkőben képződött barlangjaiban fordulnak elő. Bár korábban érthető okból úgy vélték, külön fajokat alkotnak, ma ugyanazon faj, a Mexikó és Texas felszíni vizeiben gyakori *Astyanax mexicanus* egyik alfajaként határozzák meg őket. A vak alfaj 29 barlangban található meg, és ismétlem, erősen úgy tűnik, mintha e barlangi populációk legalábbis némelyike elcsökevényesedett szemét és sápadt színét egymástól függetlenül fejlesztette volna ki: azaz a felszínen lakó halak több alkalommal is barlangokban ütötték fel a sátorfájukat, és minden alkalommal egymástól függetlenül veszítették el a szemüket és a színüket.



VAKON ENGEDELMESKEDIK A DOLLO-TÖRVÉNYNEK? Mexikói barlangi vaklazac, *(Astyanax mexicanus)*

Zavarba ejtő módon úgy tűnik, némelyik populáció másoknál hosszabb ideje időzik a barlangjában, ami önmagában is fokmérőként mutatja, meddig lehet eljutni a tipikusan barlanglakó irányban. A szélső esetet a Pachon-barlangban találjuk, amelyikről azt tartják, hogy a legrégibb populációnak ad otthont. A fokmérő „fiatal" végén a Micos-barlang helyezkedik el, amelynek populációja viszonylag változatlan maradt a rendes felszínlakó fajtársakhoz képest. Egyik népesség sem lehet nagyon régóta a barlangjában, mivel eredetileg egy olyan dél-amerikai fajról van szó, amely a Panama-földnyelv 3 millió évvel ezelőtti kialakulása – a Nagy Amerikai Kicserélődés - előtt nem kelhetett át Mexikóba. Úgy sejtem, a barlangi vaklazac populáció még ennél is jóval fiatalabb.

Könnyű megérteni, hogy a sötétség lakói eleve miért nem fejlesztettek ki szemeket; ennél már nehezebb belátni, hogy a barlangi halak miért „vesződtek" azzal, hogy megszabaduljanak a szemeiktől, tekintve, hogy legutóbbi őseik rendes, működő szemekkel bírtak. Ha azonban fennáll a lehetősége – bármily csekély legyen is –, hogy egy barlangi hal egyszer kisodródjék barlangjából a napvilágra, akkor nem lenne-e haszna a szemek megtartásának, pusztán a „minden eshetőségre készen" alapon? Az evolúció nem így működik, de e feltevés komolyabb kifejezéssel is megfogalmazható. A szemek kialakítása – miként valójában bármié – nem költségmentes. Az a halegyed, amely erőforrásait az állat háztartásának valamely másik részére fordítja, előnybe kerülhet a vetélytárs hallal szemben, amely megtartotta teljes méretű szemét.* Ha egy barlanglakónál a szem iránti szükség valószínűsége nem kellő mértékben ellensúlyozza a szemkialakítás gazdasági költségeit, akkor a szem eltűnik. Ha a természetes kiválasztódásról van szó, akkor még az igen kis előny is jelentős. Más biológusok kihagyják a gazdaságtant a számításaikból. Számukra elegendő a szem véletlenszerű változásainak felhalmozódására utalni, amelyeket nem büntet a természetes kiválasztódás, mert nem számítanak. Sokkal több módon lehet megvakulni, mint látásra szert tenni, így a véletlenszerű változások pusztán statisztikailag is a vakság felé mutatnak.

* A szem még költségesebb luxus lehet, ha megfertőződik vagy bántalom éri. Talán az ásó vakondokok is ezért szabadultak meg tőle, amennyire lehetett.

És ez elvezet bennünket *A barlangi vaklazac meséjé*nek lényegéhez. Ez a mese a Dollo-törvényről szól, amely kimondja, hogy evolúció nem fordítható meg. Vajon nem érvényteleníti-e Dollo törvényét a vak barlangi hal azzal, hogy nyilvánvalóan megfordított egy evolúciós folyamatot, amikor újból összezsugorította a szemet, amely oly fáradságosan nőtt meg az elmúlt evolúciós időben? Nincs esetleg általános elméleti oka annak, hogy az evolúció visszafordíthatatlanságára számítsunk? A válasz mindkét kérdésre nem. Viszont ehhez a Dollo-törvény megfelelő értelmezése szükséges, s ennek a mesének épp ez a célja.

A nagyon rövid időszakok kivételével az evolúciót nem lehet pontosan és ugyanúgy megfordítani, de a hangsúly itt a „pontosan és ugyanúgyra" esik. Igen valószínűtlen, hogy a folyamat valamely előre meghatározott evolúciós ösvényt követ. Túlzottan sok a lehetséges ösvény. A pontosan megfordított evolúció pedig az előre meghatározott evolúciós ösvény különleges esete. Az evolúció által bejárható ily nagyszámú lehetséges út mellett az esélyek erősen az egy bizonyos ösvény ellen szólnak, beleértve az éppen bejárt ösvény pontos visszafordítását is. Ám önmagában nincs olyan törvény, amely ellentmondana az evolúciós visszaútnak.

A delfinek szárazföldlakó emlősök leszármazottai. Visszatértek a tengerbe, és számos felületes szempontból hasonlítanak a gyorsan úszó, nagy halakra. Ám az evolúció nem fordult a visszájára. A delfinek bizonyos szempontból hasonlítanak a halakra, de belső tulajdonságaik többsége egyértelműen emlősként határozza meg őket. Ha az evolúció valóban visszafordulna, akkor egyszerűen halak lennének. Lehetséges lenne, hogy némely „hal" valójában delfin – csak a halhoz való visszatérés olyan tökéletes és messzemenő, hogy nem vettük volna észre? Fogadjunk? Pontosan ebben az értelemben érdemes nagy tétben a Dollo-törvényre fogadni. Különösen ha megvizsgáljuk a molekuláris szintű evolúciós változást.

A Dollo-törvény ilyen értelmezését termodinamikai értelmezésnek nevezhetjük, mivel emlékeztet a termodinamika második alaptörvényére, amely kimondja, hogy egy zárt rendszerben az entrópia (a rendezetlenség vagy „kevertség") növek-

szik. A második törvényt gyakran hasonlítják (vagy több is ez, mint hasonlat) egy könyvtárra. Egy lelkes könyvtáros nélkül, aki a megfelelő polcokra rakosgatja a könyveket, a könyvtár általában rendetlenné válik. A könyvek összekeverednek. Az emberek az asztalon hagyják, vagy rossz polcra teszik őket. Az idő múlásával a könyvtár entrópiája elkerülhetetlenül növekszik. Ezért kell minden könyvtárba egy könyvtáros, aki állandóan azon fáradozik, hogy helyreállítsa a könyvek rendjét.

A második törvénnyel kapcsolatban az a gyökeres félreértés, mikor azt feltételezik, hogy létezik valamiféle sürgető igény a rendezetlenség valamely meghatározott állapota mint cél felé. Egyáltalán nem erről van szó. Pusztán arról, hogy jóval többféleképpen lehet valami rendezetlen, mint rendezett. Ha a könyveket a hanyag olvasók tetszőlegesen összekevernék, akkor a könyvtár magától eltávolodna attól az állapottól (vagy kisszámú állapottól), amikor bárki rendezettként ismerhetné fel. Nincs késztetés a magasabb entrópia felé. Inkább arról van szó, hogy a könyvtár az eredeti magas fokú rendezettség állapotától véletlenszerű irányokba elkanyarodik, és mindegy, hogy az összes lehetséges könyvtárak terében merre vándorol, a lehetséges ösvények elsöprő többsége a rendezetlenség irányába tart. Hasonlóképpen, az összes lehetséges evolúciós ösvények közül, amelyeket egy ágazat követhetne, a roppant sokaságú ösvények közül csupán egyetlen lenne a pontos fordítottja annak az ösvénynek, amelyen az ágazat létrejött. Kiderül, hogy Dollo törvénye nem mélyrehatóbb, mint annak „törvénye", hogy ha ötvenszer feldobunk egy érmét, akkor nem kapunk mindannyiszor fejet – sem írást, sem pontos váltogatást, *sem egyéb más, előre meghatározott sorozatot*. Ugyanez a „termodinamikai" törvény azt is kimondaná, hogy semmilyen „előre" irányuló, *meghatározott* evolúciós ösvényt nem lehetne kétszer ugyanúgy bejárni.

Ebben a termodinamikai értelemben a Dollo-törvény igaz, csak éppen semmitmondó. Egyáltalán nem érdemli meg jobban a törvény címet, mint az azt tiltó „törvény", hogy ha százszor feldobunk egy érmét, akkor nem kapunk mindannyiszor fejet. Elképzelhetjük a Dollo-törvény „valódi törvény"-szerű értelmezését, amely azt mondaná ki, hogy az evolúció nem térhet vissza semmihez, amely halványan valami ősi állapotra emlékeztetne, mint ahogy a delfin halványan emlékeztet a halakra. Ennek az értelmezésnek valóban lenne értéleme, és érdekes is lenne, csak éppen (kérdezzük meg a delfint) nem volna igaz. El sem tudok képzelni olyan értelmes elméleti okfejtést, amely alapján arra számíthatnánk, hogy igaz legyen.

A LEPÉNYHAL MESÉJE

Megnyerő vonása Chaucernek a szereplőket bemutató *Általános bevezetőjének* naiv tökéletességre törekvése. Nem volt elég, hogy egy orvostudor is részt vett a zarándoklaton – annak az ország legjobb doktorának kellett lennie:

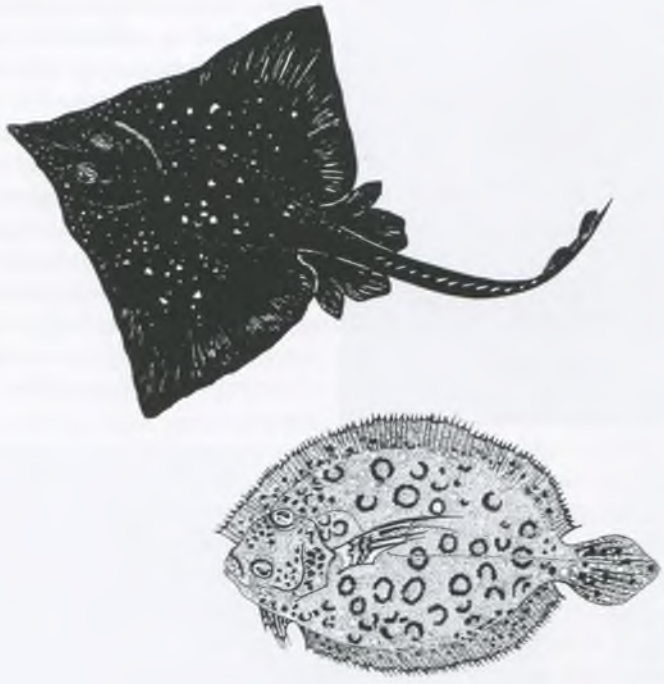
> ilyen nem volt a világon soha.
> Sebészetet tudott és fizikát.

Úgy tűnik, a „nemes, tökéletes lovagnak" nem akadt párja a kereszténységben bátorságban, hűségben, sőt modorban sem. Ami apródját és fiát illeti, „vidám volt és

szerelmetes... vegyítve fürgeséget és erőt": S mindenekfelett, „mint május hava, oly üde volt".* Még a lovag fegyverhordozója is mindent tudott az erdőkről. Az olvasó biztosra veheti, hogy ha valamely foglalkozásról történik említés, annak művelője egyből páratlannak bizonyul egész Anglia-szerte.

A tökéletességre törekvés az evolucionisták bűne. Annyira hozzászoktunk a darwini adaptáció csodáihoz, hogy hajlamosak vagyunk azt hinni, semmi nem is lehet jobb. Valóban kísértés ez, amit kis híján ajánlani is tudok. Meglepően erős érvek hozhatók föl az evolúciós tökéletesség mellett, de körültekintően és kifinomult figyelemmel kell eljárni.** Itt csupán egy példát hozok a történeti korlátokra, mégpedig az úgynevezett „sugárhajtásúgép-hatást": képzeljük el, milyen tökéletlen lenne egy sugárhajtású gép, ha ahelyett, hogy egy tiszta tervezőasztal mellett terveznék, a propelleres motortól kezdve lépésről lépésre, csavarról csavarra, szegecsről szegecsre kellene megváltoztatni.

A rája olyan lapos hal, amit akár a rajzolóasztal mellett is tervezhettek volna ilyen laposra, hason ülőre, széles „szárnyúra", amelyek szimmetrikusan nyúlnak ki mindkét oldalon. A lapos csontos halak másként oldják ezt meg. Ők egyik oldalukon nyugszanak, vagy a balon (lepényhal), vagy a jobbon (nagy rombuszhal). Bármelyik oldalon is, az egész koponya alakja úgy torzul el, hogy az alsó oldalon lévő szem átkerül a felső oldalra, ahol képes látni vele. Picassónak tetszettek volna. Viszont bármely tervezőasztali követelmény szerint árulkodó módon tökéletlenek. Pontosan oly módon tökéletlenek, amire akkor számíthatunk, ha valami ahelyett, hogy tervezték volna, magától alakult ki.



PICASSÓNAK TETSZETTEK VOLNA
A rája (*Raja batis*, fent) a hasán nyugszik, a pávaszemes lepényhal *(Bothus lunatus)* a jobb oldalán. A jobb oldali szem az idők során átvándorolt a bal (a felső) oldalra. Lalla Ward rajza.

* Kormos István fordítása (Geoffrey Chaucer: *Canterbury mesék*. Európa Kiadó, 1987).

** A *The Extended Phenotype* (magyarul: A hódító gén) című könyvemben „A tökéletesség korlátai" címmel külön fejezetet szenteltem a csapdáknak.

21. TALÁLKOZÁS ■ CÁPÁK ÉS ROKONAIK

21

„A tenger gyilkos ártatlanságából…" – Yeats verse teljesen más összefüggésbe ágyazódik, mégis – nem tehetek róla – mindig a cápát juttatja eszembe. Gyilkos, mégis ártatlan a szándékos kegyetlenségben, miközben úgy gondoskodik a megélhetéséről, hogy talán a világ leghatékonyabb gyilkológépe. Ismerek embereket, akik számára a legszörnyűbb lidércnyomás a nagy fehér cápa. Ha közéjük tartoznánk, talán nem szeretnénk megtudni, hogy a miocén kori cápa, a *Carcharocles megalodon* legalább háromszorosa volt a nagy fehérnek, ehhez méltó állkapcsokkal és fogakkal.



HATALMAS, FUTURISZTIKUS, FEKETE, DELTASZÁRNYÚ REPÜLŐGÉP
Ördögráják *(Manta birostris)*

Én, aki az atombomba kortársaként nőttem fel, nem cápát látok visszatérő lidércnyomásként, hanem egy hatalmas, futurisztikus, fekete, deltaszárnyú repülőgépet, amely csúcstechnológiájú rakétakilövőktől csillog, miközben az eget árnyékával, a szívemet rossz előérzettel tölti meg. Formája valójában csaknem pontos megfelelője az óriási ördögrájáénak. Sötét alakja, oly jelképesen fenyegető iker géppuskatornyával, amint végiglebeg álmaim felszínén, egyfajta műszaki unokatestvére a *Manta birostris*nak. Mindig nehezen tudtam felfogni, hogy ezek a hétméteres szörnyek ártalmatlan szűrve táplálkozók, amelyek kopoltyújukkal szűrik ki a planktont. Ezen túl rendkívül gyönyörűek is.

És akkor mi az ördögöt kezdjünk a fűrészesrájával (lásd a 294. oldalon)? És a pörölycápával? A pörölycápa olykor megtámadja az embert, de alighanem nem emiatt tör be be álmainkba. Bizarr, T alakú feje, és oly távol ülő szemei – amilyeneket csak a tudományos fantasztikumtól várnánk – olyanok, mintha kábítószerrel serkentett fantáziájú művész tervezte volna. És a rókacápa, az *Alopias* tán nem egy újabb műremek, egy újabb jelölt álmaink vásznán? Farkúszójának felső lebenye csaknem olyan hosszú, mint teste többi része. A rókacápák hatalmas farokkal lebenyükkel először összeterelik a zsákmányt, majd agyonsújtják vele. Ismeretes, hogy egyszer egy rókacápa pompás farkának egyetlen suhintásával lefejezte a halászhajón őt háborgató halászt.

SZEMKÖZTI OLDAL
FARKÁNAK EGYETLEN SUHINTÁSÁVAL KÉPES LEFEJEZNI EGY EMBERT
Nagyszemű rókacápa *(Alopias superciliosus)*

A CÁPÁK ÉS ROKONAIK CSATLAKOZNAK
Az itt hozzánk csatlakozó porcos halak közé a cápák és a ráják tartoznak. A fosszíliák nem hagynak kétséget afelől, hogy az állkapcsos gerincesek korán csontos halakra és e porcos halakra váltak szét. A legújabb markáns adatok meggyőzően támasztják alá a mintegy 850 porcos hal itt bemutatott rokonsági viszonyait.

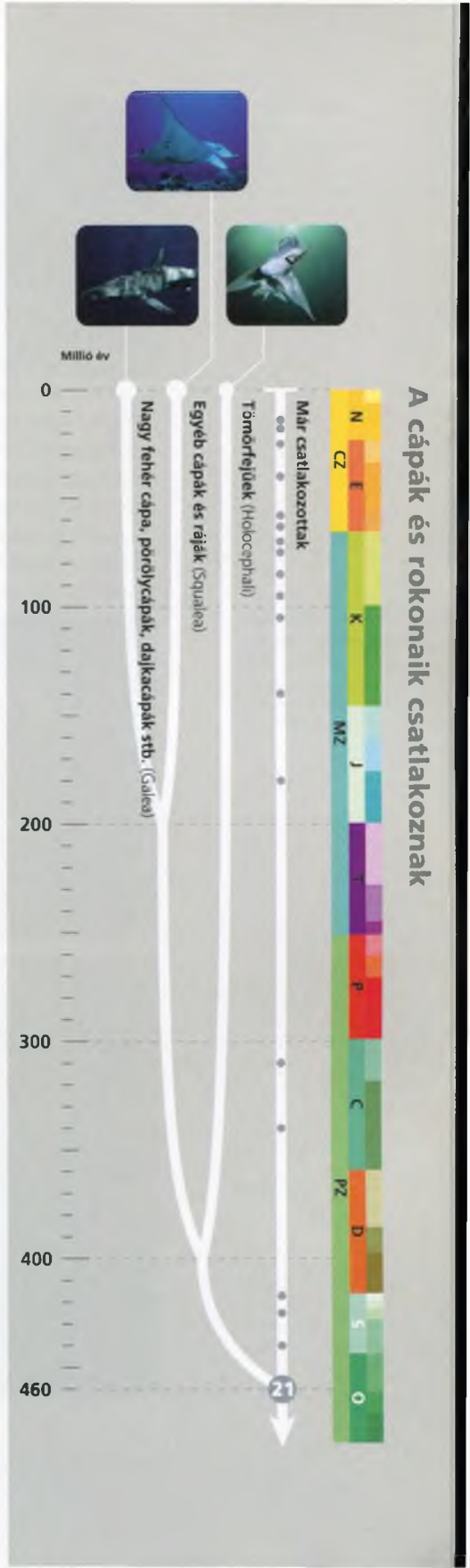
KÉPEK: szürke szirtcápa *(Carcharhinus amblyrhynchos)*; ördögrája *(Manta birostris)*; elefánthal *(Callorhynchus milii)*

A cápák, a ráják és egyéb porcos halak a 21. találkozáson csatlakoznak hozzánk, a középső ordovícium jéghideg és kietlen szárazföldjeit övező, 460 millió évvel ezelőtti tengerekben. A legszembetűnőbb különbség az új zarándokok és az összes eddigi között az, hogy a cápáknak nincsenek csontjaik. Vázuk porcból épül föl. Bizonyos célokra, így ízületeink összekapcsolására mi is használunk porcot, és embrióként mindannyiunk váza rugalmas porcként indul. Ennek nagy része később megcsontosodik, amikor a főként kalcium-foszfátból álló ásványkristályok épülnek be. A fogak kivételével a cápák váza soha nem esik át ilyen változáson. Vázuk mégis elég szilárd ahhoz, hogy egyetlen harapással lemetsszék a lábunkat.

A cápákból hiányzik az az úszóhólyag, amely a csontos halak sikerének fő kovácsa, így sokuknak állandóan úszniuk kell, hogy a kívánt szinten maradhassanak a vízben. Felhajtóerejüket azzal segítik, hogy a salakanyag karbamidot a vérükben tartják, és hatalmas, olajban gazdag májjal rendelkeznek. Alkalmanként néhány csontos hal is olajat használ gáz helyett az úszóhólyagjában.

Ha valaki oly felelőtlen tettre ragadtatná magát, hogy megsimogat egy cápát, azt találná, hogy a bőre olyan, mint a csiszolópapír, legalábbis akkor, ha „szemcsével szemben" simogatná meg. Testét bőrfogacskák – hegyes, fogszerű pikkelyek – borítják. Nem csupán fogszerűek, de a cápák félelmetes fogai maguk is a bőrfogacskák evolúciós módosulásai.

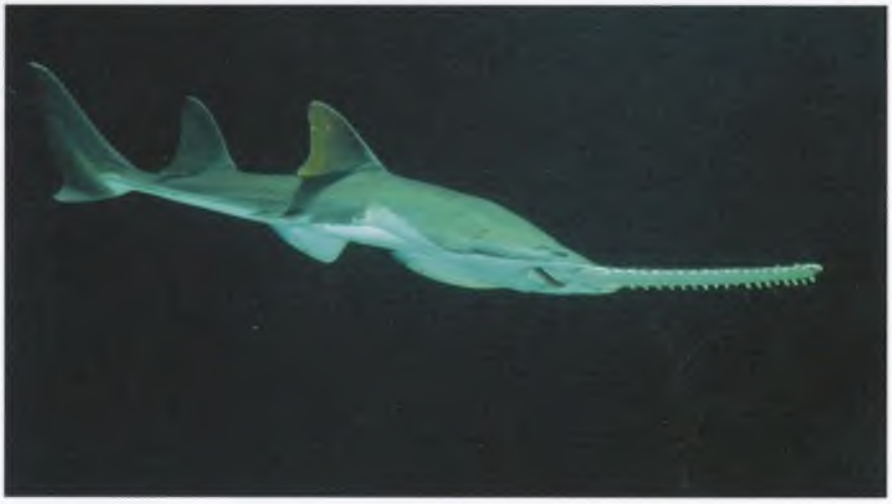




A cápák és ráják csaknem mind tengerben élnek, bár néhány nemük felmerészkedik a folyótorkolatokba és a folyókba. Az emberre támadó édesvízi cápák a Fidzsi-szigeteken voltak gyakoriak akkoriban, amikor az emberek még kannibálok voltak. A legízesebb falatok kivételével az összes hulladékot beledobálták a folyókba, és úgy tűnik, a cápákat a kannibál lakomák maradékának szaga csalogatta föl a folyókba. Amikor az európaiak megérkeztek, véget vetettek a kannibalizmusnak, ugyanakkor viszont gondatlanságból olyan új betegségeket hurcoltak be, amelyek ellen a helybéliek nem rendelkeztek védettséggel. A betegségek áldozatainak tetemeit is a folyókba dobták, így a cápákat továbbra is odacsábították. Manapság, hogy a holttesteket már nem a folyókba hajítják, a cápatámadások is megritkultak. A csontos halakkal ellentétben még nem láttak olyan cápát, ami kísértést érzett volna arra, hogy kijöjjön a szárazföldre.

A porcos halak két nagy csoportra oszthatók: a meglehetősen furcsa kinézetű tömörfejűekre vagy tengerimacska-félékre, amelyek nem olyan számosak, hogy jelentős részét képezzék a faunának, valamint a cápákra, zsibbasztórájákra és rájákra, amelyek viszont igen sokan vannak. A zsibbasztórájáik és ráják ellapított cápák. A macskacápák kis cápák, de azért nem túl kicsik: apróhal méretű cápa nincs. A törpecápa, a *Squaliolus laticaudus* 20 centiméteresre nő meg. A cápák testét nagy méretekre tervezték, és a legnagyobb közülük, az érdes cápa, a *Rhincodon typus* elérheti a 12 méteres hosszúságot, súlya pedig a 12 tonnát. Ez, akárcsak a második legnagyobb, az óriás cetcápa, *Cetorhinus maximus* és a legnagyobb bálnák, ugyancsak planktonevő. A rémképzetek táptalajaként már említett *Carcharocles megalodon* – célzatos eufemizmussal élve – nem éppen szűrve táplálkozó





Mintha kábítószerrel serkentett fantáziájú művész tervezte volna
jobbra: nagy pörölycápa *(Sphyrna mokarran)*
alul: édesvízi fűrészesrája *(Pristis microdon)*

volt. E miocén kori szörnynek minden foga akkora volt, mint egy emberi arc. Falánk ragadozó volt, akárcsak a mai cápák többsége, és viszonylag kevés változással több százmillió évig uralta a tengeri táplálékláncot csúcsát.



Kísérteties megjelenés Az elefánthal *(Callorhynchus milii)* megjelenése a tömörfejűekre jellemző: nagy fej és lebegő mellúszók.

Ha az ördögráják bombázóként bukkannak fel rémképeink közt, akkor a helyből felszálló harcigép kisebb szerepét a tömörfejűek játszhatnák el, amelyeket tengeri macskáknak vagy szellemcápáknak is neveznek. Ezek a különös mélytengeri halak a Holocephala (tömörfejűek) rendbe tartoznak, míg a többi porcos halak, a cápák és a ráják együttesen az Elasmobranchii rendbe tömörülnek. A tömörfejűek szokatlan kopoltyúfedelükről ismerhetők fel, amely teljesen lezárja az egyes kopoltyúnyílásokat, egyetlen nyílást biztosítva valamennyi számára. A cápáktól és a rájáktól eltérően „csupaszok": testüket nem borítják bőrfogacskák. Talán ennek köszönhetik kísérteties megjelenésüket. Hasonlóságuk a lopakodórepülőhöz abból fakad, hogy farkuk nem jelentős, és hatalmas mellúszóikkal „repülve" úsznak. A tömörfejűeknek csupán mintegy 35 túlélő faja van.

Bár a cápák nyilvánvalóan sikeresek – és ráadásul látványosan hosszú ideje –, a valódi csontoshalak fajainak száma harmincszorosa az övéiknek. A cápáknak két nagy kirajzására került sor. Az első hatalmas virágkor a paleozoikum tengereiben történt, különösen a karbon időszakban. A cápáknak ez az ősi uralma a mezozoikum kezdetén ért véget (a szárazföldön a dinoszauruszok kora). Majd egy körülbelül 100 millió évig tartó pangás után a cápák a kréta korban újabb jelentős fellendülésnek örvendhettek, amely máig tart.

Egy szóasszociációs tesztben a *cápa* szó nagy valószínűséggel az *állkapocs* választ vonná maga után, így 21. köz-ősünk, amely talán 200 milliomodik ősszülőnk volt, nagyon is alkalmas arra, hogy az őse legyen az összes valódi állkapoccsal (gnathosztomával) rendelkező gerincesnek. A *gnathosz* görögül 'alsó állkapcsot' jelent, és éppen ez az, ami közös a cápákban és bennünk, többiekben. A klasszikus összehasonlító anatómia egyik nagy győzelmét vívta ki, amikor kimutatta, hogy az állkapcsok a kopoltyúváz módosult részeiből alakultak ki. A 22. találkozáson legközelebb hozzánk csatlakozó zarándokok az állkapocsnélküliek (Agnatha) alaposan fel vannak szerelve kopoltyúval, de nincs alsó állkapcsuk. A hajdan számos, sokféle és erősen páncélozott Agnathák ma az ingolákra és a nyálkahalakra fogyatkoztak.

22. TALÁLKOZÁS
INGOLÁK ÉS NYÁLKAHALAK

22

A 22. találkozásra, ahol az ingolákkal és a nyálkahalakkal köszöntjük egymást, valahol az alsó kambrium meleg tengereiben kerül sor, mondjuk 530 millió évvel ezelőtt, és úgy taksálom, hogy a 22. köz-ősünk nagyjából a 240 milliomodik ősszülőnk lehetett. Az ingolák és a nyálkahalak kulcshírnökei a gerincesek hajnalának. Bár együttes kezelésük, állkapocs és végtag nélküli halakként kényelmes, el kell ismernem, hogy számos morfológus véli úgy, hogy mi közelebbi unokatestvérei vagyunk az ingoláknak, mint a nyálkahalak. Ezen iskola szerint az ingola zarándokokat a 22. találkozáson, míg a nyálkahalakat a 23.-on kellene üdvözölnünk. Másfelől viszont a molekuláris biológusok egyként kitartanak amellett, hogy mindketten azonos találkozáson csatlakoznak hozzánk, így magam is ezt a véleményt fogadom el itt ideiglenesen. Mindenesetre hozzá kell tennem, hogy sem az ingolák, sem a nyálkahalak nem szolgáltatnak igazságot az állkapocsnélküliek sokaságának, amelyek nagyrészt kihaltak.

Az ingolák és nyálkahalak felületesen az angolnákra hasonlítanak, testük puha – ám amikor az állkapocs nélküli halak uralták a tengereket, a „halak korának" nevezett devonban, sokukat, amiket osztrakodermként („csontbőrű") ismerünk, kemény, csontos páncéllemezek borították, és némelyiküknek az ingolákkal és nyálkahalakkal ellentétben páros úszóik is voltak. Meghazudtolnak minden olyan felvetést, hogy a csont a gerincesek „fejlett" jellemvonása, amely a porc szerepét vette volna át. A tokok és egyéb „csontos" halak abban a tekintetben hasonlítanak a cápákra és az ingolákra, hogy vázuk csaknem kizárólag porcból áll, ám sokkal csontosabb ősök leszármazottai – valójában súlyos páncélborítású halaké –, és nem valószínűtlen, hogy a cápák és az ingolák is.

Még súlyosabb páncélzatúak voltak a *Placodermata*-fajok, ezek a bizonytalan rokonságú, állkapoccsal és végtaggal rendelkező, teljesen kihalt csoportba tartozó halak, amelyek némely állkapocs nélküli osztrakoderm kortársaként szintén a devonban éltek, és feltehetően korábbi állkapocs nélküli halak leszármazottai voltak. Némelyik plakoderm olyan erősen páncélozott volt, hogy még végtagjaikat is csőszerű, ízesülő külső csontváz borította, amely felületesen a rákok lábára hasonlított. Ha egy fantáziadúsabb egyén félhomályban találkozna valamelyikükkel, megbocsáthatnánk neki, ha úgy vélné, valami különös fajtájú homárba vagy rákba botlott. Fiatal egyetemistaként arról álmodoztam, hogy felfedezek egy élő plakodermet – ez felelt meg nálam a „száz futamot nyerni Angliának" (krikettben) fantáziálásnak.

Vajon miért fejlesztettek ki mind az állkapcsos plakodermek, mind az állkapocs nélküli osztrakodermek ily súlyosan megerősített testet? Ugyan mi lehetett azokban a paleozoikumi tengerekben, amely ily félelmetes védelmet követelt? A valószínű-

Az állkapocs nélküli halak csatlakoznak
Ma is sok vita folyik a gerincesek ágazatának alapjánál lévő evolúciós rokonsági viszonyokról, különösen a ma is élő állkapocsnélküliekről – az ingolák 41 és a nyálkahalak 43 fajáról. A kövületek szerint a legkorábbi elágazás a nyálkahalak és a többi gerinces közt történt, és csak ezt követte az ingolák elágazása. A molekuláris adatok azonban erősen amellett szólnak, hogy az ingolák és nyálkahalak egy csoportba tartoznak, mint ahogy az ábrán is látjuk.

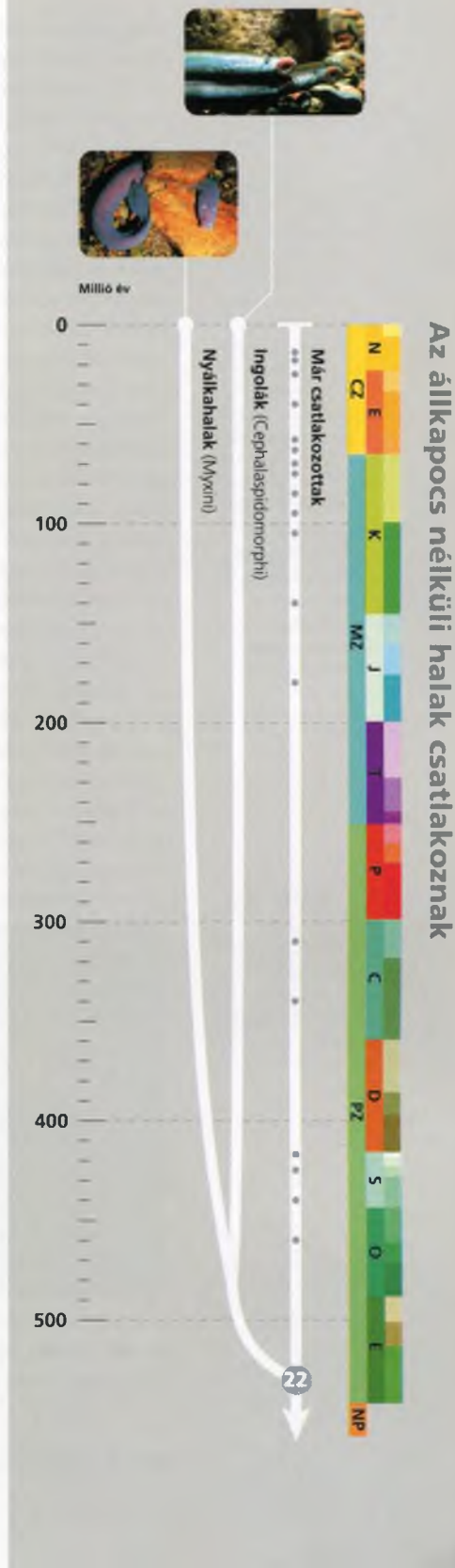
Képek balról jobbra:
új-zélandi nyálkahal *(Eptatretus cirrhatus)*; tengeri ingola *(Petromyzon marinus)*

síthető válasz az, hogy hasonlóan félelmetes ragadozók, mely posztra a többi palkoderm mellett nyilvánvaló jelöltek az eurypteridák vagy tengeri skorpiók – melyek némelyike a kétméteres hosszúságot is elérte – a valaha élt legnagyobb ízeltlábúak. Akár volt az eurypteridáknak mérgező fullánkjuk, mint a mai skorpióknak, akár nem (az újabb bizonyítékok szerint nem), mindenképpen félelmes ragadozóknak kellett lenniük, akik képesek voltak belehajszolni a mind az állkapcsos, mind az állkapocs nélküli devoni halakat a költséges páncélborítás kifejlesztésébe.

Az ingolák nem páncélosak, és könnyen fogyaszthatók, miként azt I. Henrik királynak jó oka volt megbánnia (az iskolai történelemkönyvek soha nem hagyják említés nélkül, hogy az ingoláktól kapott csömörbe halt bele). A legtöbb ingola más halakon élősködik. Állkapcsok helyett körkörös szívószája van, amely egy kicsit a polip szívókájára hasonlít, de ez koncentrikus körökbe rendezett sertefogakból áll. Az ingola szívószájával rátapad a másik hal testére, fogaival átrágja magát a bőrén, és áldozata vérét szívja, mint egy pióca. Az ingolák súlyos károkat okoznak a halászoknak, különösen az észak-amerikai Nagy-tavak vidékén.

Senki sem tudja, milyen volt a 22. köz-ős, de mivel feltehetően a kambriumban élt, jóval a devoni halak kora és a rettentő tengeri skorpiók előtt, talán nem volt páncélos, mint az állkapocs nélküli halak aranykorának osztrakodermjei. Mégis úgy tűnik, hogy az osztrakodermek közelebbi unokatestvéreink voltak nekünk, állkapcsos gerinceseknek, mint az ingolák. Más szóval „mielőtt" zarándokaink a 22. találkozáson találkoztak volna az ingolákkal, már zarándoklatunkba olvasztottuk az osztrakodermeket. A kihalásuk miatt általunk nem számolt osztrakodermekkel közös ősünk feltehetően állkapocsnélküli volt.

A mai nyálkahalak hosszú, angolnaszerű alakjuk, alsó állkacsuk és páros végtagjuk hiánya, mindkét oldali kopoltyúnyílásaik, valamint a felnőttként is megtartott gernichúrjuk



(a legtöbb gerincesnél csak az embrióban jelen lévő, a háton végigfutó merevítőrúd) révén hasonlítanak az ingolákra, viszont nem paraziták. Szájnyílásukkal kis gerinctelenek után kotorásznak a tengerfenéken, vagy dögevőként elpusztult halakon vagy bálnákon élnek, gyakran befurakodva a testbe, hogy kifelé rágják magukat. Rendkívül síkosak, és meghökkentő tehetséggel képesek magukon csomót kötni, amit akkor vetnek be, ha fogást akarnak biztosítani a tetemen, amikor beássák magukat.

Korábban úgy gondolták, hogy a gerincesek jóval a kambrium után alakultak ki. Talán ama sznob vágyunk megnyilvánulása volt ez, hogy az állatvilágot fokozatosan előrehaladó létrán helyezzük el. Valamiként helyesnek és illendőnek tűnt, hogy volt olyan kor, amikor az állatok élete gerinctelenekre korlátozódott, amelyek berendezték a színt a dicső gerincesek fellépéséhez. Nemzedékem zoológusait arra tanították, hogy a legkorábbi ismert gerinces egy állkapocs nélküli hal, a *Jamoytius* volt (némiképp szabadon J. A. Moy-Thomasról nevezték el), amely a szilur időszak közepén, 100 millió évvel a kambrium után élt, amikor a legtöbb gerinctelen törzs keletkezett. Nyilván a gerincesek őseinek is élniük kellett a kambriumban, akikről azt feltételezték, hogy az igazi gerincesek gerinctelen előfutárai voltak: a protochordaták (előgerinchúrosok). A legrégibb fosszilis protochordataként a *Pikaia* jött súlyosan számításba.* Ezért aztán remek kis meglepetés volt, amikor nyilvánvalóan valódi gerinces kövületek kezdtek felbukkanni a kínai kambriumi, méghozzá alsó kambriumi rétegekből. Ez némileg megfosztotta a *Pikaiát* misztériumától. Valódi gerincesek, állkapocs nélküli halak éltek a *Pikaia* előtt. A gerincesek visszanyúlnak a kambrium mélyére.

* Erről a kambriumi fosszíliáról, amit eredetileg gyűrűsféregként határoztak meg, később derült ki, hogy protochordáta, s ebben a szerepkörben bukkan fel S. J. Gould *Wonderful Life* (Csodálatos élet) című könyvében.

Irdatlan korukat tekintve nem meglepő, hogy ezek a *Myllokunmingiá*nak és *Haikouichthys*nek nevezett (bár talán ugyanabba a fajba tartozó) kövületek nincsenek jó állapotban, és még sok mindent nem tudunk ezekről az ősvilági halakról. Úgy tűnik, legtöbb olyan vonásuk megvolt, amelyre számíthatunk is az ingolák és nyálkahalak rokonaitól, így a kopoltyúk, a szegmentált izomnyalábok, valamint a gerinchúr. A *Myllokunmingia,* amellyel találkozunk még *A bársonyféreg meséjé*ben, talán nem áll távol attól, hogy 22. köz-ősünk hihető modellje legyen.

A 22. találkozás nagy jelentőségű mérföldkő. Mostantól kezdve az összes gerinces egyetlen zarándokcsapatba egyesül. Nagy esemény ez, hiszen az állatokat rendszerint két nagy csoportra osztják: gerincesekre és gerinctelenekre. Praktikus osztályozásként ez a megkülönböztetés mindig hasznosnak bizonyult a gyakorlatban. Ám szigorúan kladista szempontból a gerinces/gerinctelen megkülönböztetés érthetetlen, és csaknem annyira természetellenes, mint az emberiség ősi zsidó felosztása zsidókra és „idegenekre" (vagyis mindenki másra). Bármilyen fontosnak is tartjuk magunkat, mi, gerincesek, még csak egy egész törzset sem alkotunk, hiszen a gerinchúrosok (Chordata) törzsének altörzsét képviseljük, míg a gerinchúrosok törzsét egy szinten kell elgondolnunk, mondjuk a puhatestűek (Mollusca) törzsével (csigák, tapadókagylók, tintahalak stb.) vagy a tüskésbőrűek (Echinodermata) (tengericsillag, tengerisün stb.) törzsével. A gerinchúrosok törzsébe egyéb gerincesszerű állatok is tartoznak, amelyeknek nincs hátgerincük – így például a lándzsahal, akivel a 23. találkozáson futunk össze.

A szigorú kladizmus ellenére valóban van valami tényleg különleges a gerincesekben. Peter Holland professzor igen határozottan érvelt amellett, hogy jelentős különbség van (valamennyi) gerinces és (valamennyi) gerinctelen genomjának

bonyolultsága között. „Talán éppen a genetikai szinten mutatkozik a legnagyobb változás metazoa* elődeinket illetően." Holland úgy véli, fel kell éleszteni a gerincesek és gerinctelenek közötti hagyományos elkülönítést, és én értem is, mire gondol.

A gerinchúrosok a már említett gerinchúrról kapták a nevüket, erről a porcrúdról, amely, ha felnőttként nem is, embrió állapotban végigfut az állat testén.** A gerinchúrosok (beleértve a gerinceseket is) másik tulajdonsága, ami nálunk csak az embrión látható, hogy az embrió első végének közelében mindkét oldalon kopoltyúnyílások találhatók, míg hátul egy farok, amely a végbélnyílás mögül nyúlik hátra. Valamennyi gerinchúrosnak hátoldali idegszála van, szemben sok gerinctelennel, amelyeknek idegszála hasoldali.

Valamennyi gerinces embrió rendelkezik gerinchúrral, amit azután kisebb-nagyobb mértékben a szelvényekre osztott, tagolt hátgerinc vált fel. A gerinchúr a legtöbb felnőtt gerincesben csak töredékekben, mint például a gerincen belüli korongok formájában marad fenn, amelyek elcsúszásra való hajlama annyi fájdalmat okozhat nekünk. Az ingolák és a nyálkahalak szokatlanok a gerincesek között abban, hogy felnőttként is többé-kevésbé érintetlenül megtartják a gerinchúrjukat. Ebből a szempontból szerintem a gerincesség határán állnak, de persze azért mindenki gerincesnek hívja őket.

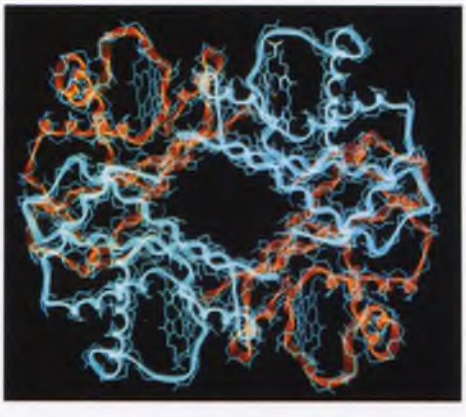
* A metazoa soksejtű állatokat jelent, és a későbbiekben találkozunk még ezzel a kifejezéssel a zarándokutunkon.

** A Chordata szóban lévő „chord" szó zavaró lehet, hiszen a modern angolban csak valami zenével kapcsolatost jelent, mint kedvenc dalomban, a *The Lost Chord*ban (Elveszett akkord), míg a gerinchúr („notochord")-ja h nélküli „cord"-ot, azaz húrt, kötelet jelent. Ám a „chord"-ot a „cord" archaikus írásmódjának tartják, míg a zenei kapcsolat onnan eredhet, hogy a latin *chorda* hangszerhúrt jelent.

Az ingola meséje

Majd a végén kiderül, miért az ingolára hárul e mese elmondása. Visszatérése ez egy olyan témának, amellyel korábban már találkoztunk; az elődöknek és a leszármazásnak létezik egy külön, génszempontú változata, amely meglepően más képet nyújt attól, amit a hagyományos módon értelmezett családfák alapján alkotunk.

A hemoglobin az a jól ismert, létfontosságú molekula, amely az oxigént szállítja a szöveteinkhez, és a vér feltűnő színét adja. A felnőtt emberi hemoglobin valójában négy, globinnak nevezett és egymásba gabalyodott fehérjelánc vegyülete. DNS-szekvenciáik elárulják, hogy a négy globinlánc ugyan közeli rokona egymásnak, mégsem azonos. Kettőjüket alfa-globinnak (mindegyik 141 aminosavból álló láncolat), a másik kettőt béta-globinnak (mindegyik 146 aminosavból álló láncolat) nevezzük. Az alfa-globinokat kódoló gének a 11. kromoszómánkon találhatók, míg a béta-globinokat kódolók a 16. kromoszómán. Mindezen kromoszómákon egy csoport, sorba rendeződő globin gén található, köztük elszórtan néhány soha át nem íródó hulladék DNS-sel. A 11. kromoszómán elhelyezkedő alfa-csoport hét globin gént tartalmazz. Ezek közül négy álgén (pszeudogén) –



Hemoglobinmolekulát ábrázoló számítógépes grafika, amelyen a kék színű a két alfa-globin láncot, míg a sárga a két béta-globin láncot jelzi.

vagyis hibás szekvenciákat tartalmazó, rokkant alfa, amelyek soha nem fordítódnak át fehérjévé. Kettő a felnőttekben használt valódi alfa-globin. Az utolsó, amit zétának nevezünk, csak az embrióban jut szerephez. A 16. kromoszómán lévő csoport hat génből áll, melyek közül néhány rokkant, és egy csak az embrióban használatos. A felnőtt hemoglobin, mint láttuk, két alfa- és két béta-láncot tartalmaz, amelyek egy csodálatosan működő csomagot alkotva gabalyodnak össze.

Ne is törődjünk ezzel a bonyolultsággal, hiszen most jön a lenyűgöző dolog. A gondos, betűről betűre történő elemzés megmutatja, hogy a különböző fajtájú globin gének szó szerint unokatestvérei egymásnak – családtagok. Ám ezek a távoli unokatestvérek ma is ott találhatók bennünk egymás mellett. Ott csücsülnek fej-fej mellett unokatestvéreikkel minden varacskos disznó, minden vombat, minden bagoly és minden gyík minden egyes sejtjében.

Az egész szervezetek szintjén természetesen valamennyi gerinces éppúgy unokatestvére egymásnak. A gerinces evolúció családfáját mindannyian jól ismerjük: elágazási pontjai a fajképződés eseményeit jelzik, azt, amikor valamely faj leányfajokra szakad. Megfordítva, ezek a zarándoklatunkat tagoló találkozóhelyek. Létezik azonban egy másik családfa is, amely ugyanazon az időtávon nyújtózkodik, de amelynek ágai nem fajképződési eseményeket, hanem a genomon belüli génkettőződéseket jelképeznek. Márpedig a globin elágazási mintázata, a szokványos, ortodox módon értelmezett családfa elágazási mintázatától – ahol a fajok leányfajokra ágaznak szét – igencsak eltérő képet mutat. Itt nem csupán egy evolúciós fa van, amelyen a fajok elágaznak, és leányfajoknak adnak életet, hanem minden génnek megvan a maga fája, saját szétválási krónikája, saját nyilvántartása a közeli és a távoli unokatestvérekről.

A bennünk lévő mintegy tucatnyi különböző globin gerinces őseink egész leszármazási során át maradt ránk. Körülbelül félmilliárd éve egy állkapocs nélküli halban, talán egy ingolában, egy ősi globin gén véletlenül kettévált úgy, hogy a két példány a hal genomjának különböző részében maradt. Ezután tehát két példány volt belőle az összes utódállat genomjának különböző részein. Az egyik példánynak az a szerep jutott, hogy létrehozza az alfa-csoportot azon, amely végül a mi genomunkban a 11. kromoszómává vált, míg a másik a béta-csoportot, a mai 16. kromoszómánkon. Nincs értelme, hogy megkíséreljük kitalálni, közülük melyik kromoszóma ült meg a közbenső ősökben. A felismerhető DNS-szekvenciák helyszínei, valójában az a kromoszómaszám, amennyiből a genom felépül, meglepően tarka összevisszaságban keveredik és változik. A kromoszómaszámláló rendszerek ezért nem általánosítanak az állatcsoportokon keresztül.

A korok múlásával további megkettőződésekre és kétségtelenül törlésekre is sor került. Körülbelül 400 millió éve az ősi alfa-gén újra megkettőződött, ám ezúttal a két másolat ugyanazon kromoszóma egyik csoportjában egymás közeli szomszédságában maradt. Egyiküknek az lett a sorsa, hogy embrióink zétája, a másiknak, hogy a felnőtt emberek alfa-globinja legyen (további elágazások hozták létre a már említett, nem működő álgéneket). Hasonló volt a család béta-ágának története is, csak éppen a megkettőződések a geológiai történet eltérő pillanataiban estek meg.

És most jön a lenyűgöző dolog. Tekintve, hogy az alfa-csoport és a béta-csoport közti szétválás félmilliárd éve történt, nem csupán a mi emberi genomjainkon látszik meg a szétválás, és nem csak mi birtoklunk mind alfa-, mind béta-géneket

genomunk különböző részein. Ugyanezt az egyeden belüli megoszlást kell találnunk, ha megvizsgáljuk bármely emlős, madár, hüllő, kétéltű vagy csontos hal genomját, hiszen mindegyikükkel közös ősünk kevesebb mint 500 millió éve élt. Bárhonnan is vizsgáljuk, ez a várakozás helyesnek bizonyul. Legnagyobb reményünk, hogy a gerincesek között egy olyanra bukkanjunk, amelyik nem osztozik velünk az ősi alfa/béta megosztottságon, legfeljebb egy, az ingolához vagy a nyálkahalhoz hasonló állkapocs nélküli halhoz fűződhet, mivel ők a fennmaradt gerincesek közül a legtávolabbi unokatestvéreink. Ők az egyedüliként fennmaradt olyan gerincesek, akiknek a többiekkel közös őse eléggé ősi ahhoz, hogy esetleg megelőzhette az alfa/béta hasadást. Elég az hozzá, hogy ezek az állkapocs nélküli halak az egyedüli gerincesek, amelyekben nincs meg az alfa/béta elkülönülés. Más szóval, a 22. találkozás olyan ősrégen zajlik, hogy megelőzi az alfa- és a béta-globin elkülönülését.

Az ingola meséjéhez hasonló történetet minden egyes génünkről elmondhatnánk, mivel ha elegendően messzire megyünk vissza, akkor mindegyik valamely ősi gén meghasadásának köszönheti eredetét. És minden génről lehetne ehhez az egész könyvhöz hasonlót írni. Mi viszont önkényesen úgy döntöttünk, hogy ezúttal emberi zarándoklatról legyen szó, amelynek mérföldköveit a többi ágazattal való találkozóhelyeken jelöltük ki, amelyek azokat a fajképződési eseményeket jelentik, amikor emberőseink elszakadtak a többiektől. Már rámutattam, hogy ennyi erővel kezdhettük volna zarándoklatunkat egy mai dugonggal vagy egy mai fekete rigóval is, és akkor más közös ősökkel számolhatnánk visszafelé egész Canterburyig. Most azonban még ennél is nagyobbat mondok. Bármelyik *génnek* megírhatnánk visszafelé vezető zarándoklatát.

Elhatározhatnánk, hogy követjük az alfa-hemoglobin vagy a citokróm-c vagy bármely más néven nevezendő gén zarándoklatát. Az 1. találkozás az a mérföldkő lenne, amelynél választott génünk legutóbb kettőződött meg, hogy másolatot készítsen magáról a genom egy másik pontján. A 2. találkozás az ezt megelőző megkettőződési esemény lenne és így tovább. Minden találkozás-mérföldkő valamely meghatározott állaton vagy növényen belül zajlott volna le, éppúgy, ahogy az ingola meséje egy kambriumi állkapocs nélküli halban jelölte meg az alfa- és a béta-hemoglobin közti hasadás valószínűsíthető helyszínét.

Az evolúció génszempontú szemügyre vétele megragadja a figyelmünket, és aztán el sem engedi.

23. TALÁLKOZÁS ■ LÁNDZSAHALAK

23

Íme, egy takaros zarándok fickándozik felénk teljesen egymagában, hogy csatlakozzék zarándoklatunkhoz. Az *Amphioxus*ról vagy lándzsahalról van szó. Régebben az *Amphioxus* volt a latin neve, de a nevezéktan szabályai a *Branchiostoma* nevet írták elő neki. Mindhiába, mert az *Amphioxus* annyira jól ismertté vált, hogy tovább él. A lándzsahal vagy *Amphioxus* előgerinchúros, nem gerinces, de a gerincesekhez fűződő, nyilvánvaló rokonsága miatt azokkal együtt a Chordata törzsben helyezik el. Létezik még néhány további rokon nemük is, de ezek annyira hasonlóak a *Branchiostomá*hoz, hogy meg sem különböztetem őket, hanem valamennyit lándzsahalnak hívom.

Takarosnak nevezem a lándzsahalat, mert elegánsan közszemlére bocsátja azokat a tulajdonságait, amelyek messziről hirdetik gerinchúros voltát. A lándzsahal eleven, úszó (na jó, többnyire homokba temetkező) tankönyvi szemléltető ábra. A test teljes hosszában végigfut a gerinchúr, de gerincoszlopnak nincs nyoma. A gerinchúr hátoldalán megtaláljuk az idegcsövet, de első végén látható duzzanattól eltekintve sem agygyal (a duzzanaton viszont egy szemfolt is van), sem vázas koponyával nem találkozunk. Az oldalt elhelyezkedő kopoltyúnyílásokat szűrve táplálkozásra használja, és a test hosszában megtaláljuk a szelvényes izomnyalábokat is, viszont végtagoknak nyoma sincs. A farok a végbélnyílástól kiindulva nyúlik hátra, ellentétben a férgekkel, amelyek végbélnyílása a farok csúcsán található. A lándzsahalak abban is elütnek a férgektől, ám sok halra hasonlítanak, hogy alakjuk hosszúkás pengeszerű, és nem hengeres. A halakhoz hasonlóan, és ugyancsak halszerű izomnyalábjai segítségével a test oldalirányú hullámmozgásával úszik. A kopoltyúnyílások elsődlegesen a táplálkozó- és nem a légzőrendszerhez tartoznak. A víz a szájon át kerül be, majd a kopoltyúnyíláson át távozik, miközben a szűrőként működő kopoltyúkban fennakadnak a táplálékrészecskék. Nagyon valószínű, hogy a 23. köz-ős is így használta a kopoltyúnyílásait, ami azt jelentené, hogy a légzés csak később jött mint egy utógondolat. Ha így van, tetszetős fordulat, hogy amikor végül az alsó állkapocs kialakult, az a kopoltyúkészülék egyik részének módosulása volt.

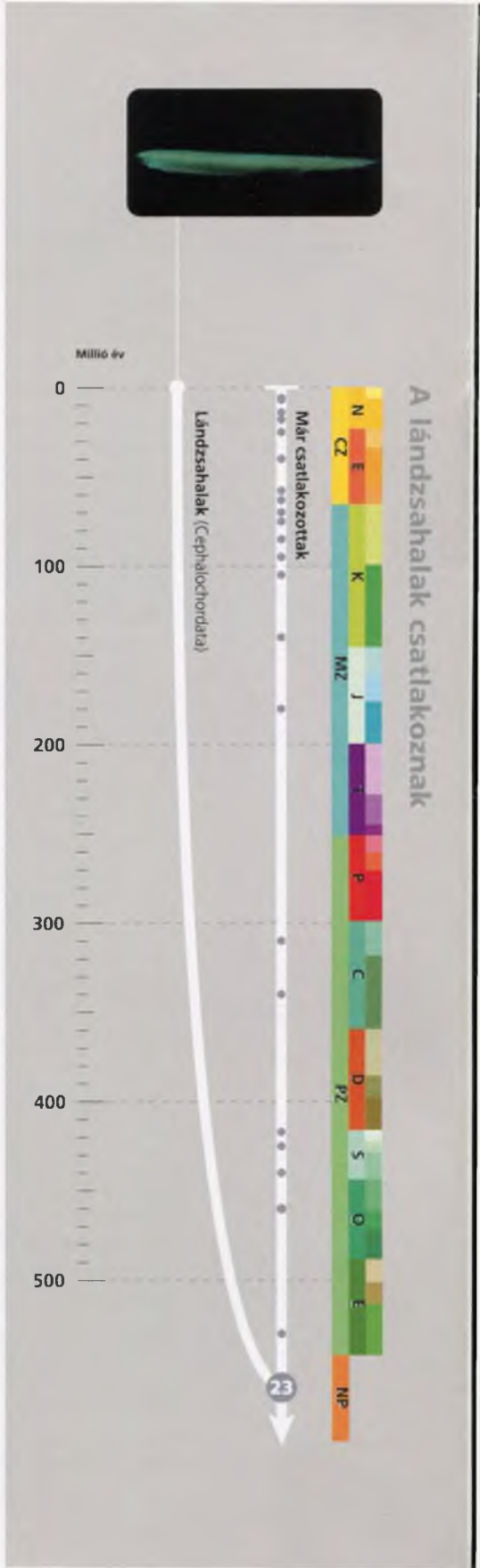
Közeledünk ahhoz a ponthoz, ahol a kormeghatározás olyan nehézzé és ellentmondásossá válik, hogy bátorságom cserbenhagy. Ha kényszerítenének, körülbelül 560 millió évvel ezelőttre tippelném 270 milliomodik összülőnk évjáratát. Ám tévedhetek is, így mostantól fogva felhagyok azzal, hogy megkíséreljem leírni a világ állapotát köz-őseink korában. Kétlem, hogy valaha is biztosan megtudjuk, miként festhetett, de nem elképzelhetetlen, hogy a 23. köz-ős valóban a lándzsahalra hasonlíthatott. Ha így van, ez azzal ér föl, mintha kijelentenénk, hogy a lándzsahal primitív. Ez azonban azonnal figyelmeztető mese után kiált – amit el is mond a lándzsahal.

SZEMKÖZTI OLDAL

* Garstang itt közölt versében az „ivarmirigye" nem a lándzsahaléra, hanem az ingola „ammocoetes" lárvájáéra vonatkozik.

A LÁNDZSAHALAK CSATLAKOZNAK
A gerincesek legközelebbi élő rokonai közé az általában lándzsahalaknak nevezett, halszerű állatok 25 ismert faja tartozik. E tényt alig vitatják. Mostantól fogva visszafelé viszont annál vitatottabbak a találkozások időpontjai (lásd *A bársonyféreg meséjé*nek előszavát).

KÉP: *Branchiostoma*-faj (korábban: *Amphioxus*)



A LÁNDZSAHAL MESÉJE

„Ha egy villanásnyi fény megnöveli ivarmirigyét,
a lándzsahal jogát az ősiségre rögvest elveszté."
WALTER GARSTANG (1868–1949)

Már találkoztunk Walter Garstanggal, a neves zoológussal, aki sajátos módon, eszméit versekbe csomagolva fejtette ki. A fenti kuplét nem azért idéztem, hogy Garstang saját témáját szőjem tovább, amely, bár elég érdekes ahhoz, hogy szerepeljen *Az axolotl meséjé*ben, itt nem tartozik a tárgyunkhoz.* Csupán a vers utolsó sora, abból is a „jogát az ősiségre" kifejezés foglalkoztat. A lándzsahalnak vagy *Branchiostomá*nak és a valódi gerinceseknek éppen elég közös vonásuk van ahhoz, hogy régóta valamely távoli gerinces ős túlélő rokonának, sőt – és ez bírálatom tárgya – akár magának az ősnek tartsák.

Nem vagyok méltányos Garstanggal szemben, aki tökéletesen tisztában volt azzal, hogy a lándzsahal túlélő állatként szó szerinti értelemben nem lehetne ős. Az ilyen megfogalmazás azonban gyakran mégis félrevezető. A zoológushallgatók gyakran csak általják magukat, amikor azt képzelik, hogy ha szemügyre vesznek egy „primitívnek" nevezett mai állatot, akkor egy távoli őst látnak. Az ilyen általtásról árulkodnak az „alsóbbrendű" vagy az „evolúciós skála alján elhelyezkedő állat" kifejezések, amelyek nem csupán sznobok, de az evolúcióval is összeegyeztethetetlenek. Darwin önmagához intézett tanácsa mindannyiunkra érvényes: „Soha ne használd a magasabb és alacsonyabb szavakat!"

A lándzsahalak élőlények, közvetlen kortársaink. Olyan mai állatok, amelyeknek pontosan ugyanannyi idő állt rendelkezésükre a fejlődéshez, mint nekünk. Egy másik árulkodó kifejezés: „egy oldalág az evolúció főágán". Valamennyi élő állat oldalág. Az evolúciónak egyetlen ága sem „főbb", mint bármely másik, hacsak nem utólagos bölcsességgel okoskodunk.



A lándzsahalhoz hasonló mai állatokat tehát nem szabad ősünkként tisztelni, miként „alsóbbrendűként" lekezelni vagy „felsőbbrendűként" magasztalni sem. Ennél kissé meglepőbb, ami most következik – és ezzel elérkeztünk a lándzsahal meséjének másik leglényegesebb pontjához –, vagyis általában alighanem biztosabb, ha ugyanezt állítjuk a kövületekről is. Elméletileg elképzelhető, hogy egy bizonyos kövület valóban valamely mai állat közvetlen őse. Statisztikailag viszont valószínűtlen, mivel az evolúció fája nem karácsonyfa vagy jegenyenyár, hanem sűrű cserjés vagy bozótos. A vizsgált kövület talán nem ősünk, de segíthet abban, hogy megértsük azt a fajta átmeneti állapotot, amelyen valódi ősünk keresztülhaladt, legalábbis testének valamely részét illetően, mint például a fül vagy a medence. Egy kövület tehát nagyjából olyan helyzetnek örvend, mint egy mai állat. Mindkettő felhasználható valamely ősi állapotunkkal kapcsolatos sejtéseink megvilágítására. Normális körülmények között azonban egyiket sem szabad valódi ősként kezelni. A kövületeket, éppúgy, mint az élőlényeket, legjobb, ha unokatestvéreinknek, és nem őseinknek tartjuk.

A kladista iskola tagjai a kövületek nem megkülönböztetett jellegét egy puritán vagy egy spanyol inkvizítor buzgóságával világgá kürtölve valóságos hittérítői lehetnek ennek a tannak. Némelyek egyből átesnek a ló túloldalára. Fogják azt a józan állítást, miszerint „Nem valószínű, hogy valamely meghatározott kövület valamely túlélő faj őse legyen", és ekként értelmezik: „Nem is voltak ősök!" Könyvünk természetesen röviden elintézi az ilyen képtelenségeket. A történelem minden egyes pillanatában lennie kellett legalább egy emberősnek (legalább egy elefántős, sarlósfecskeős, polipős stb. kortársaként vagy önmagában megtestesítve mindet), még akkor is, ha valamely meghatározott kövület csaknem biztosan nem az.

Ebből adódóan azok a köz-ősök, amelyekkel múltba vezető utunkon találkozunk, általában nem meghatározott kövületek. A legtöbb, amiben reménykedhetünk, hogy sikerül összeállítanunk egy listát ősünk vélhető tulajdonságairól. Nem rendelkezünk a csimpánzokkal közös ősünk kövületével sem, bár nem egészen tízmillió éve élt csupán. Viszont a kétkedés lehetőségét fenntartva képesek vagyunk megsejteni, hogy ősünk minden bizonnyal – Darwin híres szavaival élve – egy szőrös négylábú volt, mivel mi vagyunk az egyetlen olyan emberszabású, aki a hátsó lábain jár, és a bőre csupasz. A kövületek segíthetik következtetéseinket, de többnyire éppoly áttételesen, ahogyan az élő állatok segítenek.

A lándzsahal meséjének az a tanulsága, hogy jóval nehezebb egy ősre lelni, mint egy unokatestvérre. Ha tudni szeretnénk, hogy nézett ki 100 vagy 500 millió évvel ezelőtti ősünk, nincs értelme abban a reményben lenyúlni a megfelelő kőzet mélyére, hogy onnét egy „ős" feliratú kövületet húzunk elő, mint valami mezozoikumi vagy paleozoikumi szerencsekosárból. A legjobb esetben is csak abban bízhatunk, hogy előkerül egy sor kövület, amelyek némelyike ennek a testrésznek, mások másiknak felelnek meg, és amelyek *olyasféle* dolgokat képviselnek, ahogyan az ős talán kinézhetett. Ez a kövület talán őseink fogairól mond valamit, amaz, a néhány millió évvel későbbi, őseink karjairól nyújt valami fogalmat. Egy bizonyos kövület csaknem bizonyosan nem az ősünk, de némi szerencsével egyes részei hasonlíthatnak ősünk megfelelő testrészeire, éppúgy, miként egy leopárd lapockacsontja nagyjából olyan, mint egy pumáé.

SZEMKÖZTI OLDAL
23. köz-ős
Úgy véljük, ez a köz-ős hasonlított a mai lándzsahalhoz. Gerinchúrja – ez a merev porcrúd – kezdetleges agyától kiindulva végigfutott az egész testén. A mai lándzsahalhoz hasonlóan tömör myomerái (V alakú izomnyalábjai) lehettek, és a táplálékot kopoltyúrésein át szűrhette bele a test alján húzódó, átriumnak nevezetett üregbe.

24. TALÁLKOZÁS ■ TENGERI ZSÁKÁLLATOK

24

A tengeri zsákállatok első ránézésre aligha tűnnek alkalmas újoncoknak emberközpontú zarándoklatunkhoz. A korábban érkezettek nem ütöttek el oly élesen a már úton lévőktől. Még a lándzsahalat is tekinthettük lemeztelenített halnak: szó, ami szó, lényeges jellegvonásai hiányoznak, de könnyen fel tudnánk vázolni azt az utat, amelyen járva egy lándzsahalféle lény hallá fejlődhetne. A tengeri zsákállat teljesen más. Még csak nem is úszik úgy, mint a halak. Nem úszik úgy, mint bármi más. Mert nem is úszik. Távolról sem értjük, egyáltalán miért viseli a gerinchúrosok dicső nevét. Egy jellegzetes tengeri zsákállat nem más, mint egy sziklához horgonyzott, béllel és szaporítószervekkel felszerelt, vízzel teli zsák. A zsákot két szívócső koronázza – az egyiken beszívja, a másikon kiereszti a vizet. Éjjel-nappal áramlik a víz – az egyik csövön befelé, a másikon újra kifelé. Útközben áthalad egy garatkosáron – egy szűrőhálón, amely kiszűri a táplálékrészecskéket. Némely tengeri zsákállat telepekben él, ám lényegében ugyanazt műveli a telep minden tagja. Nincs olyan tengeri zsákállat, amely a leghalványabban is emlékeztetne bármilyen halra, gerincesre vagy lándzsahalra.

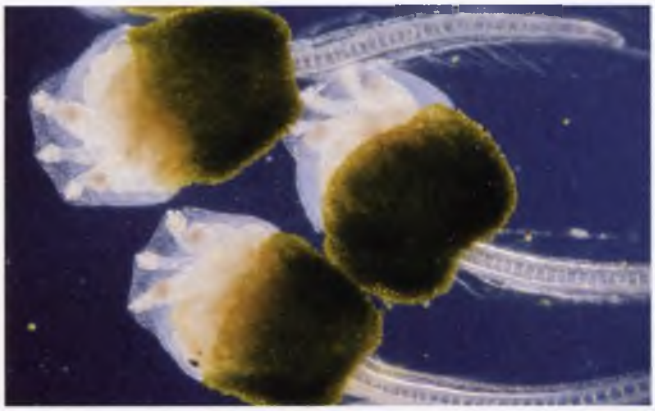
SZEMKÖZTI OLDAL
EBIHALLÁRVA
A *Didemnum* nevű tengeri zsákállat lárvái. Tisztán látható farkukban a gerinchúr.

AKÁR EGY VÉGLEGESÍTETT EGYETEMI DOCENS?
Felnőtt kék tengeri zsákállat *(Rhopalaea crassa)*



A TENGERI ZSÁKÁLLATOK CSATLAKOZNAK
A merev, porcos „gerinchúrral" rendelkező állatokat a gerinchúrosok közé sorolják (az embereknek ennek a húrnak a csökevényei maradtak fenn a gerinccsigolyák közti porckorongokban). Már régóta elfogadott, hogy a Chordaták között a tengeri zsákállatok és szövetségeseik (amelyekből mintegy 2000 fajt írtak le) a legtávolabbi rokonai az összes többinek. Ezt a legújabb molekuláris adatok is alátámasztották.

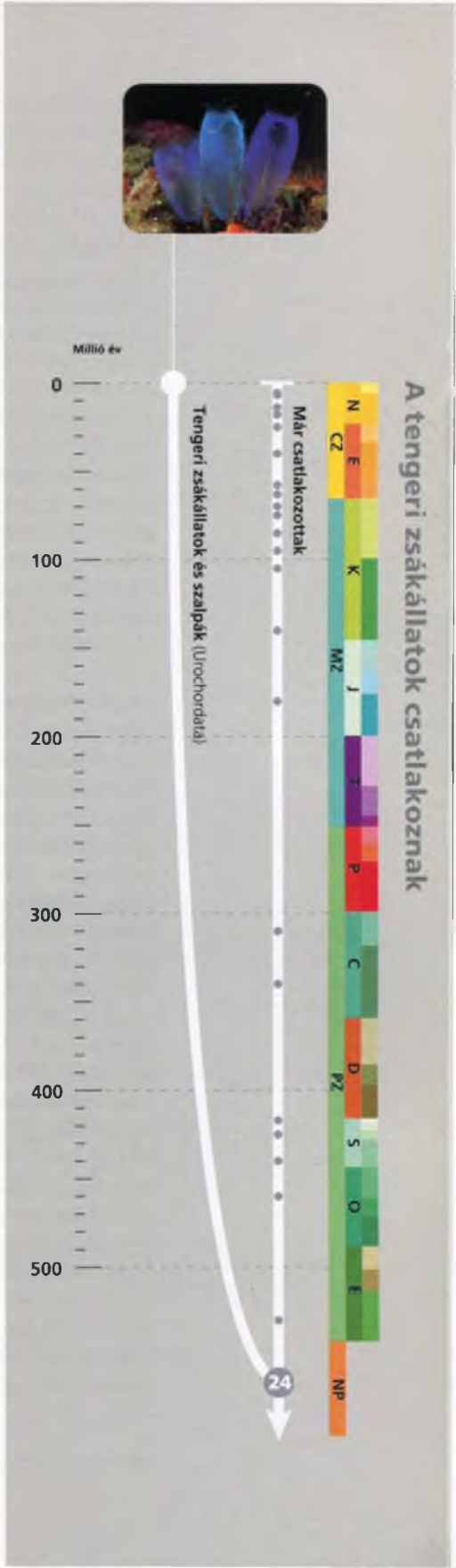
KÉP: kék tengeri zsákállat *(Rhopalaea crassa)*



Azazhogy nincs olyan felnőtt tengeri zsákállat. Bármennyire is gerinchúr nélkülinek tűnik egy felnőtt zsákállat, lárvája úgy fest, akár... egy ebihal. Vagy az ingola lárvája, Garstang 303. oldalon szereplő rigmusának ammocoetese. Oly sok helyhez kötött, fenéklakó, szűrve táplálkozó állat lárváihoz hasonlóan a tengeri zsákállat ebihallárvája is a planktonban úszik, miközben a végbélnyílás után elhelyezkedő farkával oldalirányban hullámozva hajtja magát előre, mint egy hal. Gerinchúrral és hátoldali idegcsővel rendelkezik. Ha a felnőtt tengeri zsákállat nem is, a lárva legalábbis kezdetleges gerinchúros benyomását kelti. Amikor készen áll a felnőtté válásra, a lárva fejével lecövekeli magát a sziklához (vagy bármi legyen is felnőttkori nyugvóhelye), elveszíti farkát, gerinchúrját és idegrendszere javát, majd egy életre megtelepszik.

Annak jelentőségét, hogy „ebihallárvának" is nevezik, Darwin is felismerte. Az Ascidiae tudományos néven taglalt tengeri zsákállatokról a következő, nem túl hízelgő áttekintést nyújtotta:

> Aligha tűnnek állatoknak, hiszen csupán egy egyszerű, szívós, bőrös zsákból állnak, amelyen két kis szájnyílás található. Huxley Molluscoideái közé, a puhatestűek nagy törzsének ezen alsóbb osztályába tartoznak, bár a természetbúvárok újabban a



férgek vagy Vermes-ek közé helyezik őket. Lárváik némileg hasonlítanak az ebihalakhoz, és rendelkeznek a szabadon úszkálás képességével.

Meg kell mondanom, hogy ma sem a Molluscoideát, sem a Vermest nem tartják már számon, és a tengeri zsákállatokat sem a puhatestűek vagy a férgek közelében helyezik el. Darwin továbbmenve megemlíti, hogy megelégedéssel fedezett fel ilyen lárvákat 1833-ban a Falkland-szigeteken, majd így folytatja:

> M. Kovalevsky legutóbb megfigyelte, hogy az Ascidiae lárvák fejlődésmódjuk, idegrendszerük viszonylagos helyzete s a gerinces állatok *chorda dorsalisá*hoz erősen hasonló szerkezet birtoklása tekintetében rokonai a gerinceseknek... Így aztán joggal hisszük, hogy egy rendkívül távoli időszakban létezett egy olyan állatcsoport, amely sok tekintetben hasonlított a jelenlegi Ascidiae lárvákra, és amely két nagy ágra szakadt – az egyik visszamaradt a fejlődésben, és az Ascidiae mai osztályát eredményezte, míg a másik az állatvilág koronájává és csúcspontjává emelkedett azzal, hogy a gerinceseknek adott életet.

Itt azonban a szakértők véleménye megoszlik. A történtekről két elmélet létezik: az egyik az, amelynek Darwin adott hangot, a másik, egy későbbi, amit *Az axolotl meséje* már Walter Garstangnak tulajdonított. Ugye emlékszünk az axolotl üzenetére a neoténiáról? Néha az életciklus ifjonti szakaszában nemi szervek fejlődhetnek ki és szaporodásra is sor kerül: az állat nemileg éretté válik, míg lényének egyéb vonatkozásaiban éretlen marad. Az axolotl üzenetét korábban már alkalmaztuk a pekingi palotapincsikre, a struccokra és saját magunkra: mi emberek egynémely tudós számára olyan serdülő emberszabásúaknak tűnünk, akik felgyorsították szaporodási fejlődésüket, és életciklusukról lemetszették a felnőtt szakaszt.

Garstang történetünk e jóval korábbi fordulópontjában ugyanezt az elméletet alkalmazta a tengeri zsákállatokra. Távoli ősünk felnőtt állapota, vetette föl, helyhez kötött tengeri zsákállat volt, amely ugyanolyan módon fejlesztette ki elterjedési alkalmazkodásként az ebihallárvát, mint ahogy a gyermekláncfűmagvakon is kis ejtőernyők találhatók, hogy a következő nemzedéket szülei lakóhelyétől messze vigyék. Mi, gerincesek – fejtegette tovább Garstang – a tengeri zsákállat *lárváitól* származunk – soha fel nem növő lárváktól, vagy inkább olyanoktól, amelyeknek szaporítószervei felnőttek, de amelyek soha nem váltak tengeri zsákállat felnőttekké.

Egy második Aldous Huxley az emberi hosszú életűséget addig a pontig vetíthetné előre, ahol végül valami szuper Matuzsálem fejen állva megtelepszik, és egy óriási tengeri zsákállattá alakul át, örök időkre odaszegeződvén a televízió előtti kanapéra. A cselekmény további szatirikus löketet kapna attól a népszerű mítosztól, hogy a tengeri zsákállat lárvája, amikor a megtelepedett felnőttkor kedvéért otthagyja a nyílt vízi életet, „felemészti saját agyát". Valakinek egyszer már érzékletesen ki kellene fejtenie azt az ennél prózaibb tényt, hogy az átalakuló tengeri zsákállat lárvája a begubódzó hernyóhoz hasonlóan lebontja lárvaszöveteit, és újra felhasználja őket a felnőtt testben. Ez kiterjed a fejidegdúc lebontására is, amelynek jó hasznát vette, amikor aktívan úszkált a planktonban. Akár világi, akár nem, egy ilyen ígéretes irodalmi metafora nem maradhat észrevétlen – egy ilyen termékeny mémnek elkerülhetetlenül terjednie kell. Nemegyszer találkoztam olyan utalással, hogy a tengeri zsákállat lárvája, amikor ideje elérkezik, és helyhez kötött életre tér át, „felemészti saját agyát, mint egy véglegesített egyetemi docens".

Van egy Larvaceának nevezett modern állatcsoport a tengeri zsákállatok altörzsén belül, amelynek tagjai szaporodásukat tekintve felnőttek, de a tengeri zsákállat lárvákra hasonlítanak.

Garstang rájuk vetette magát, mivel újabb visszatérést látott bennük ősi evolúciós forgatókönyvéhez. Szerinte a Larvacea tagjainak fenéklakó, helyhez kötött zsákállat őseik voltak, planktonlakó lárvaállapottal. Kifejlesztették azt a képességet, hogy lárvaállapotban szaporodjanak, aztán megszabadultak az életciklus végének régi jó felnőtt fokozatától. Minderre viszonylag nemrégiben kerülhetett sor, és ez lenyűgöző bepillantást enged abba, ami feltehetően őseinkkel félmilliárd évvel ezelőtt történt.

Garstang elmélete kétségtelenül vonzó, és sokáig nagy kegyben állt Oxfordban, különösen Garstang meggyőző vejének, Alister Hardynak köszönhetően. Sajnálatosan a legújabb DNS-bizonyítékok a mérleg nyelvét Darwin eredeti elmélete javára billentették. Ha a Larvacea tagjai az ősi garstangi forgatókönyv legutóbbi újrajátszását képviselnék, akkor közelebbi rokonságban kellene állniuk némely mai tengeri zsákállattal, mint másokkal. Sajna, nem ez a helyzet. A legrégibb szakadás az egész törzsön belül egyfelől a Larvacea csoport, másfelől a törzs összes többi tagja között történt meg. Ez nem megfellebbezhetetlenül mondja ki, hogy Garstang tévedett, de ahogy arra Alister Hardy posztjának jelenlegi betöltője, Peter Holland rámutatott, meggyengíti ügyét – méghozzá oly módon, amit sem Garstang, sem Hardy nem láthatott előre.

A 24. köz-ős korával kapcsolatban az 565 millió éves becslést tettem magamévá, ami körülbelül 275 milliomodik őszülőnkké teszi, bár az effajta becslések egyre inkább erőltetettek. Nagyon is festhetett úgy, mint egy tengeri zsákállat lárvája. Ám, Garstanggal *szemben* ma úgy tűnik, hogy Darwin felvetésével összhangban a felnőtt tengeri zsákállat alakult ki később. Darwin hallgatólagosan feltételezte, hogy e távoli faj felnőttje úgy festett, mint egy ebihal. Leszármazottainak egyik ága ebihal alakú maradt, és hallá fejlődött. A másik ága hivatalt kapott, letelepedett a tengerfenékre, és helyhez kötött szűrve táplálkozóvá vált, miközben korábbi felnőtt formáját csak a lárvaállapotban őrizte meg.

25. TALÁLKOZÁS ■ AMBULACRARIA

25

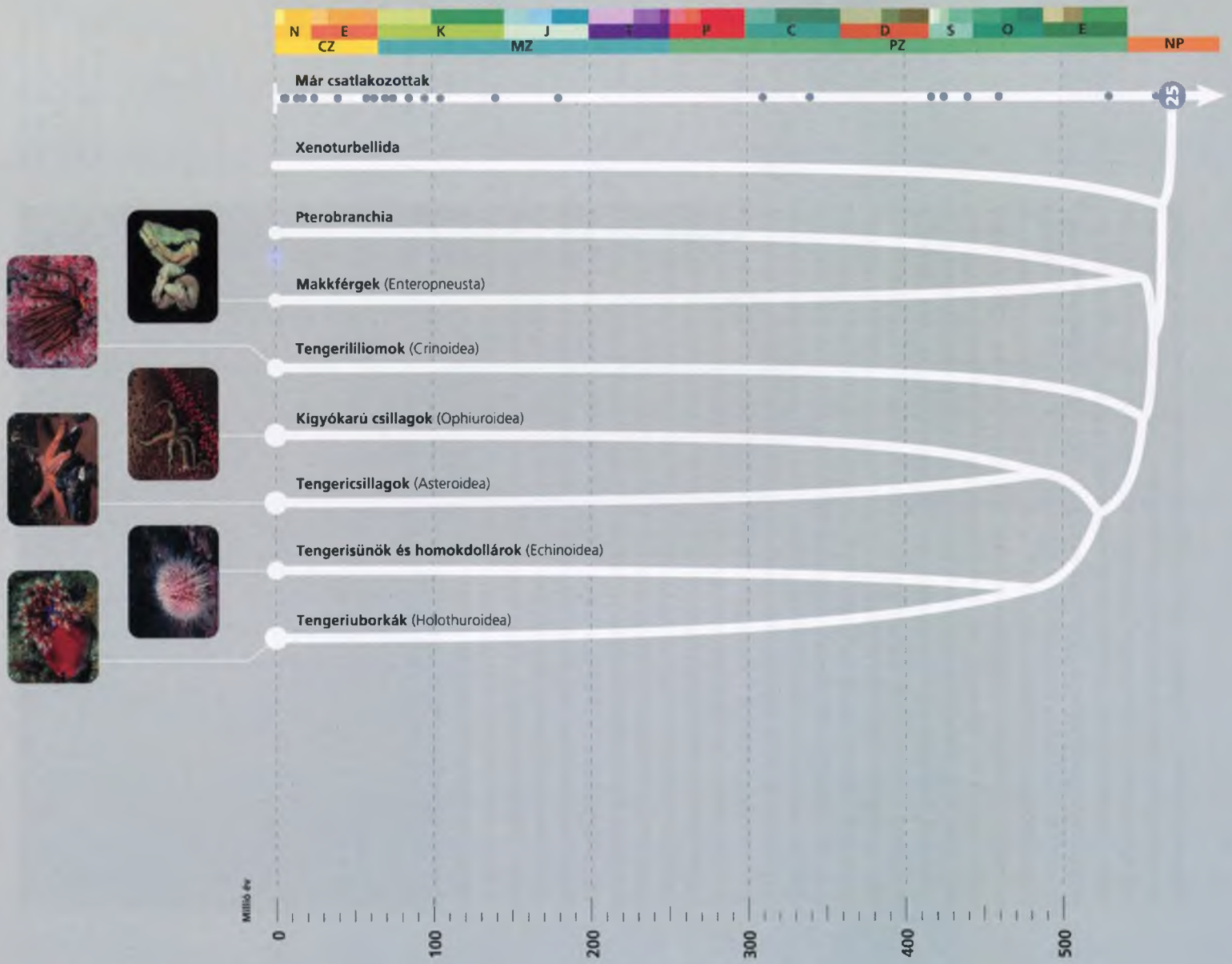
Zarándoklatunk most már egy nyüzsgő horda, amely összegyűjtötte az összes gerincest, primitív unokatestvéreikkel, a lándzsahalakkal és a tengeri zsákállatokkal együtt. Jókora meglepetésként hat, hogy a hozzánk csatlakozó következő zarándokok – a gerinctelenek közti legközelebbi rokonaink közé –, amiket hamarosan marslakóknak fogok nevezni, olyan furcsa lények tartoznak, mint a tengericsillagok, a tengerisünök, a kígyókarú tengericsillagok és a tengeriuborkák. Ezek a Crinoideának vagy tengerililiomok osztályának nevezett, nagyrészt kihalt csoporttal együtt alkotják az Echinodermata, azaz tüskésbőrűek állattörzsét. „Mielőtt" a tüskésbőrűek csatlakoznának hozzánk, már kezet fognak néhány vegyes, féregszerű csoporttal, amelyeket a molekuláris bizonyítékok hiányában korábban másutt helyeztek el az állatvilágban. A közönséges tengerimakkokat és rokonaikat (Enteropneusta és Pterobranchia) korábban a tengeri zsákállatokkal együtt az előgerinchúrosok közé sorolták. A molekuláris bizonyítékok most ettől nem túl messzire, a tüskésbőrűekkel együtt egy szupertörzsben, az Ambulacrariában jelölik ki a helyüket.

Újabban ugyancsak az Ambulacrariába került egy *Xenoturbella* nevű, különös kis féreg. Senki sem tudta, hová helyezze el a kis *Xenoturbellát* – mintha hiányozna belőle a legtöbb olyan dolog, aminek egy tiszteletre méltó féregben meg kellene lennie, így például a megfelelő kiválasztórendszer vagy az áteresztő bélcsatorna. A zoológusok az egyik törzsből a másikba taszigálták ezt a rejtélyes kis férget, amivel aztán felhagytak, amikor 1997-ben valaki bejelentette, hogy minden látszat ellenére erősen elváltozott, kéthéjú puhatestűről van szó, a nyeregkagylókhoz fűződő erős kapcsolatokkal. Ez a magabiztos nyilatkozat a molekuláris bizonyítékokra épül. A *Xenoturbella* DNS-e erősen hasonlított a nyeregkagylóéra, és mintegy a vita lezárásaként, a *Xenoturbella*-példányokban puhatestű típusú petéket találtak. Iszonyú figyelmeztetés! Mármint az, ami a modern törvényszéki detektívek rémének tűnik – vagyis hogy a megölt áldozat DNS-ére bukkannak a gyanúsítottban –, most kiderült ugyanis, hogy a *Xenoturbella* azért tartalmazott puhatestű-DNS-t meg puhatestű petéket, mert puhatestűeket eszik! A puhatestű-DNS eltávolítása után megmaradt eredeti *Xenoturbella* egy még meglepőbb rokonságra utal: a *Xenoturbella* az Ambulacraria csoport egyik tagja, sőt talán utolsóként csatlakozott hozzájuk, „mielőtt" a 25. találkozáson köszöntenénk őket. Egyéb molekuláris bizonyítékok ezt a találkozást valamikorra a kései prekambriumba, talán 570 millió évvel ezelőttre helyezik. Sejtésem szerint a 25. köz-ős körülbelül a 280 milliomodik ősszülőnk volt. Nincs elgondolásunk arról, hogyan nézett ki, de az biztos, hogy inkább féregszerű, semmint tengericsillag-szerű lehetett. Minden arra utal, hogy a tüskésbőrűek

SZEMKÖZTI OLDAL
A TENGERICSILLAGOK ÉS ROKONAIK CSATLAKOZNAK
Mi, gerinchúrosok az újszájúaknak (Deuterostomia) nevezett nagy állattörzscsoportba tartozunk. A legújabb molekuláris vizsgálatok szerint a többi újszájú is egy csoportot alkot. Ez az Ambulacrariának nevezett új csoport elég erős bizonyságot nyert, noha a Xenoturbellidákhoz tartozó néhány nyugtalanítóan alaktalan faj besorolása bizonytalan.

KÉPEK BALRÓL JOBBRA:
tengeri alma *(Pseudocolochirus violaceus)*; ehető tengerisün *(Echinus esculentus)*; közönséges tengericsillag *(Asterias rubens)*; kígyókarú csillag (Ophiotrix-faj); tengerililiom *(Cenometra bella)*; makkférgek *(Enteropneusta)*

A tengericsillagok és rokonaik csatlakoznak



sugaras szimmetriájukat másodlagosan fejlesztették ki a bal-jobb szimmetriájú ősökből – a Bilateria altagozatban.

A tüskésbőrűek nagy törzsébe mintegy 6000 élő faj tartozik, és igen tekintélyes kövületanyaguk követhető vissza a korai kambriumig. Ezen ősi kövületek némelyike bizarrul aszimmetrikus lények lenyomata. Szó, ami szó, a bizarr jelző jut elsőre az ember eszébe, ha a tüskésbőrűekre gondol. Az egyik kolléga egyszer a lábasfejűeket (polipok, tintahalak, szépiák) „marslakóknak" nevezte. Jól mondta, de az én jelöltem erre a szerepre alighanem a tengericsillag lenne. A „marslakó" ebben az értelemben olyan lény, amelynek az a különlegessége, hogy mivel megmutatja, mik nem vagyunk, segít abban, hogy világosabban lássuk magunkat.

A szárazföldi állatok általában kétoldalasan szimmetrikusok: van elejük és végük, jobb és bal oldaluk. A tengericsillagok sugarasan szimmetrikusok, míg szájuk az alsó felület közepén, a végbélnyílásuk a felső felület közepén helyezkedik el. A legtöbb tüskésbőrű ehhez hasonlatos, bár a tengeri szívsünök és a homokdollárok azzal, hogy van első és hátsó fertályuk, újra felfedezték a kétoldali szimmetria egyfajta mérsékelt fokozatát, hogy jobban beleáshassák magukat a homokba. Ha a „marslakó" tengericsillagok esetében egyáltalán beszélhetünk oldalakról, akkor, ellentétben velünk, többi földlakóval, öt (vagy néhány esetben még több) oldaluk van. A földlakó állatokban többnyire vér csorog. A tengericsillagok viszont ehelyett tengervizet szívnak be. A földlakó állatok általában csontokra vagy más vázelemekre húzott izmok segítségével változtatják helyüket. A tengericsillagok beszívott tengervízzel üzemelő, egyedülálló hidraulikus rendszer segítségével mozognak. Tényleges mozgásszerveik a test alsó felületén elhelyezkedő, sok száz kis „csőláb", amelyek az öt szimmetriatengely mentén, sugárirányban helyezkednek el. Mindegyik kis csőláb úgy néz ki, mint egy-egy tapogató, egy-egy kis kerek szívókával a végén. Önmagában túl kicsi az állat mozgatásához, de az együttműködő csatasor már képes erre, lassan, de hathatósan. A kis csőlábat a hidraulikus nyomás nyújtja meg, amit a test közelebbi végén elhelyezkedő kis hólyagra gyakorolt nyomás hatása idéz elő. Minden egyes cső önállóan működik, mint valami parányi láb. Húzóerejét kifejtvén, meglazítja szívókáját, felkerekedik és előrelendül, hogy újabb fogást találjon szívókájához, majd újra összehúzódik.



Egy rücskös kolbász
Tengeriuborka
(*Thelenota*-fajok)

A tengerisünök ugyanezzel a módszerrel haladnak. A rücskös kolbászhoz hasonlatos tengeriuborkák is tudnak így mozogni, de az ásó fajok földigiliszta módjára mozgatják az egész testüket, váltakozva hol előrenyújtva a testüket, hol összehúzva a hátsó részt. A kígyókarú csillagok a csaknem kör alakú, középső korongból kisugárzó öt (általában) karcsú kar evező mozgásával, semmint a csőlábakon vonszolódva halad-



Beszívott tengervízzel működő, egyedi hidraulikus rendszer
Közönséges tengericsillag
(Asterias rubens)

nak. A tengericsillagoknak vannak olyan izmaik, amelyek az egész kart lengetik, de ezeket inkább a zsákmány bekebelezésére és a kagylók szétfeszítésére használják.

Az, hogy merre van az „előre", ezeknek a „marslakóknak", amelyekhez a kígyókarú csillagokat, a legtöbb tengerisünt és tengericsillagot soroljuk, tetszőleges. A legtöbb földi életformával ellentétben – amelyeknek van fejjel ellátott, jól megkülönböztethető első része – a tengericsillagot öt karjának bármelyike „vezetheti". A sok száz csőláb valamiként „kimódolja", hogy minden pillanatban valamely vezető kart kövesse, de a vezető szerep karonként változhat. Az összehangolást idegrendszer végzi, de olyan idegrendszer, amely teljesen eltér minden, bolygónkon megszokottól. A legtöbb idegrendszer egy hosszú, az egész testen vagy a háti (mint a mi esetünkben), vagy a hasi oldalon (mint a férgeknél és valamennyi ízeltlábúnál) végigfutó törzskábelre épül, mely utóbbi esetben a vezeték gyakran kettős, és a bal és a jobb oldalakat létrák fűzik össze. Egy jellegzetes földi teremtményben a fő hosszanti törzsvezetékből oldalidegek ágaznak ki, gyakran szelvényenként párosan, és ez így ismétlődik elölről végig. A vezetéken általában idegdúcok, helyi duzzanatok találhatók, amelyek, ha kellő nagyságot érnek el, az agy névre érdemesülnek. A tengericsillagok idegrendszere teljesen más. Ahogy mostanra már el is várjuk, ez is sugarasan rendeződött el. A száj körül egy teljes gyűrű fut körbe, amelyből öt (vagy ahány karja van, annyi) vezeték ágazik ki az egyes karokba. És igen, az egyes karokon elhelyezkedő csőlábakat a karban végigfutó törzsvezeték szabályozza.

A csőlábak mellett néhány faj alsó felületét több száz, úgynevezett *pedicellaria* (csíptető) borítja. Ezeken apró ollók találhatók, amelyekkel a táplálékot ragadja meg vagy apró élősködők ellen védekezik.

Bármennyire idegen „marslakónak" tűnjenek is, a tengericsillagok és rokonaik viszonylag közeli unokatestvéreink. Az összes állatfajnak csaknem négy százaléka közelebbi rokonunk a tengericsillagoknál. Az állatvilágnak jóval nagyobb része még csak ezután csatlakozik zarándoklatunkhoz. Márpedig ezek nagy része a zarándokok egyetlen óriási áradatában, együttesen érkezik a 26. találkozásra. Az ősszájúak készen állnak rá, hogy fölülmúlják a már úton lévő zarándokok sokadalmát is.

26. TALÁLKOZÁS ■ ŐSSZÁJÚAK

26

SZEMKÖZTI OLDAL
AZ ŐSSZÁJÚAK CSATLAKOZNAK
Ezen a találkozáson a több mint egymillió tudományosan leírt összájú hatvanezer-egynéhány ismert faja csatlakozik hozzánk. Ez az összájú törzsfa a genetika által hozott újabb és radikális átrendezés alapján készült. A két fő csoport mára már általánosan elfogadott, de a belső leágazási sorrend rendkívül kétséges. A bal oldali hét ágon belüli sorrend (Lophotrochozoa) különösen bizonytalan.

KÉPEK BALRÓL JOBBRA:
tengeri gyűrűsféreg (*Arenicola*-faj); kerti csiga *(Helix aspersa)*; ismeretlen mohaállat, vesés csillóshasú *(Chaetonotus simrothi)*; csíkos örvényféreg *(Pseudoceros dimidiatus)*; antarktiszi kerekesféreg *(Philodina gregaria)*; ismeretlen fonalféreg, levélvágó hangya (*Atta*-faj); bársonyféreg *(Peripatopsis moseleyi)*; ismeretlen medveállatka

A geológiai idő mélységeiben egyre inkább híján vagyunk a kövületek szilárd támasztékának, és most már teljesen arra a módszerre hagyatkozunk, amit az *Általános bevezetőben* molekuláris távolságmérésnek neveztem. Ennek előnye, hogy ez a technika egyre kifinomultabb. A molekuláris távolságmérés megerősíti az összehasonlító anatómusok, vagy pontosabban összehasonlító embriológusok régi meggyőződését, hogy az állatvilág nagyobb része két nagy törzscsoportra tagolódik: az újszájúakra (Deuterostomia) és az ősszájúakra (Protostomia).

Az embriológia a következőképpen kerül a képbe. Az állatok a korai életszakaszban általában átesnek egy bélcsíraképződésnek *(gasztruláció)* nevezett, vízválasztó eseményen. A neves embriológus és tudományos képromboló, Lewis Wolpert jegyezte meg:

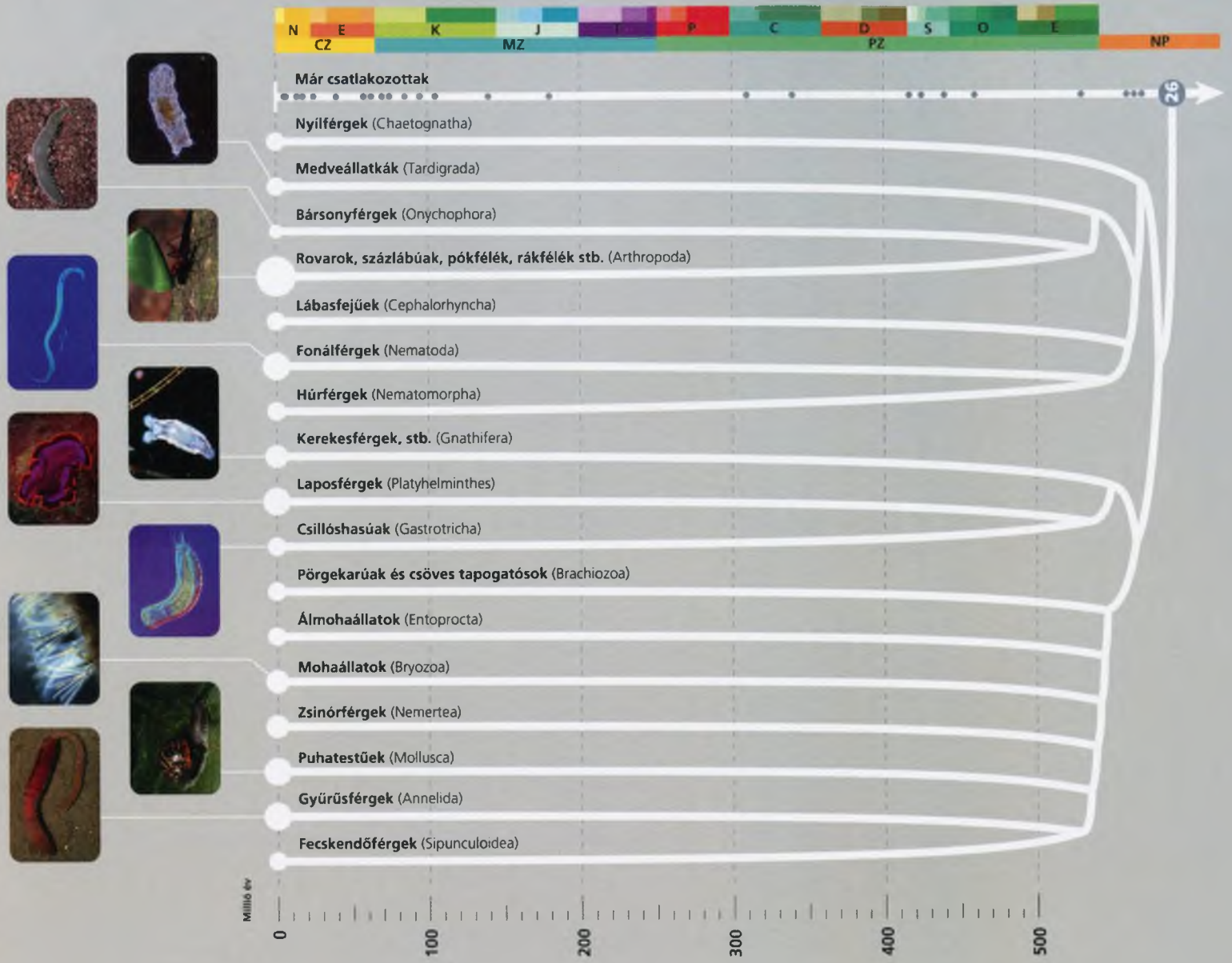
> Valójában nem a születés, a házasság vagy a halál, hanem a bélcsíraképződés életünk legfontosabb időszaka.

A bélcsíraképződésen életének korai szakaszában minden állat átesik. A bélcsíraképződés előtt az állati embrió általában egy belül üres sejtgolyóból, a hólyagcsírából (blasztula) áll, amelynek fala egysejtnyi vastag. A bélcsíraképződés során a hólyag betűrődik, és egy kétrétegű serleget formáz. A serleg nyílása egy ősszájnak nevezett, kis lyukká szűkül. Csaknem valamennyi állati embrió átesik ezen a szakaszon, vagyis valóban igen ősi jellegvonásról van szó. Arra számíthatnánk, hogy egy ilyen alapvető nyílás a test két mély üregének egyike lesz, és igazunk is lenne. Ám most érkezünk el az állatvilágon belüli nagy megoszláshoz: az újszájúakhoz (a 26. találkozás előtt befutott valamennyi állat, beleértve minket is) és az ősszájúakhoz (a 26. találkozáson éppen most hozzánk csapódó hatalmas tömeg).

Az újszájú embriológiában az ősszáj végső sorsa az, hogy végbélnyílássá alakuljon (vagy legalábbis a végbélnyílás az ősszáj közelében alakul ki). A száj egy későbbi begyűrődés következtében később jelenik meg a bélcsatorna túlsó felén. Az ősszájúaknál mindez másként zajlik: némelyeknél az ősszáj szájjá alakul, és a végbélnyílás jelenik meg később; másoknál az ősszáj rése később középütt összezárul, és az egyik oldalon kialakul a száj, a másikon a végbélnyílás. A Protostomia szó szerint azt jelenti: 'először a száj', míg a Deuterostomia jelentése: 'második a száj'.

Az állatvilágnak ezt a hagyományos embriológiai osztályozását a molekuláris biológiai adatok megerősítik. Valóban két fő állatcsoport létezik: az újszájúaké (a miénk) és az ősszájúaké (amazok). Néhány, korábban az újszájúak közé sorolt törzset azonban a molekuláris revizionisták, akiket magam is követek, áttettek az ős-

Az ősszájúak csatlakoznak





szájúak közé. Ez a három, úgynevezett Lophophora törzs – a csöves tapogatósok, a pörgekarúak és a mohaállatok – most egy csoportba került a puhatestűekkel és a gyűrűsférgekkel: az ősszájúak „Lophotrochozoa" csoportjába. Az ég szerelméért se vesződjünk a „Lophophorák" megjegyzésével, csak azért kell megemlékeznem róluk ehelyütt, mert bizonyos korok zoológusai esetleg meglepődnének, hogy nem az újszájúak között találnák őket. Van néhány olyan állat is, amelyek nem tartoznak sem az ősszájúak, sem az újszájúak közé, de ezekre később térünk ki.

A 26. találkozás a legnagyobb valamennyi közül; inkább a zarándokok gigantikus versenyfutása, semmint találkozás. Mikor történt? Ilyen ősi időpontokat nehéz megbecsülni. Az én próbálkozásom 590 millió évre teszi, plusz-mínusz jókora hibahatárral. Ugyanez áll arra a becslésemre, hogy a 26. köz-ős 300 milliomodik ősszülőnk. Az ősszájúak alkotják állatzarándoklatunk tömegét. Mivel saját fajunk az újszájúak táborához tartozik, nekik nagyobb figyelmet szenteltem ebben a könyvben, és az ősszájúakat úgy mutatom be, mint amik együttesen, egy nagy jelentőségű találkozás alkalmával csatlakoznak a zarándoklathoz. Nem csupán maguk az ősszájúak látnák ezt másként, hanem egy elfogulatlan megfigyelő is. Az ősszájúak jóval több törzset alkotnak, köztük a legnagyobbat mind közül. Idetartoznak a gerinceseknél kétszer annyi fajt számláló puhatestűek. Idetartozik a három nagy féregtörzs: a laposférgek, a fonálférgek és a gyűrűsférgek, amelyek fajainak száma talán háromszorosan is meghaladja az emlősfajokét. És mindenekfölött az ősszájú zarándokok közt vannak az ízeltlábúak: rovarok, rákfélék, pókok, skorpiók, százlábúak, ezerlábúak és sok más kisebb csoport. Egyedül a rovarok legalább háromnegyedét teszik ki valamennyi állatfajnak, vagy ennél is többet. Ahogy Robert May, a Royal Society jelenlegi elnöke megjegyezte, első megközelítésben minden faj rovar.

A molekuláris taxonómia kora előtt az anatómia és az embriológia alapján csoportosítottuk és különítettük el az állatokat. Valamennyi osztályozási szint – faj, nem, rend, osztály stb. – közül a törzs különleges, csaknem misztikus státust élvezett. Az egy törzsbe tartozó állatokat egyértelműen rokonították egymással. A különböző törzsekbe sorolt állatok túl távoliak voltak ahhoz, hogy a rokonságuk komolyan felvetődhetett volna. A törzseket áthidalhatatlan szakadék választotta el. A molekuláris összehasonlítás azonban ma arra utal, hogy a törzseket sokkal szorosabb kapcsolat fűzi össze, mint valaha is gondoltuk volna. Bizonyos értelemben – ami mindig is nyilvánvaló volt – senki sem hitte, hogy az állattörzsek valami ős-eredeti agyagból külön-külön keltek életre. Kapcsolatban kellett állniuk egymással, ugyanolyan hierarchikus minta alapján, amilyen alkotórészeik között is fennáll. Csupán arról volt szó, hogy a kapcsolatot nehéz volt észrevenni, mert elveszett az idő mélyén.

Akadtak azért kivételek. Az embriológia alapján a törzsi szint fölötti ősszájú/újszájú csoportosítást elfogadták. Aztán az ősszájúakon belül azt is általánosan elismerték, hogy a gyűrűsférgek (földigiliszták, piócák, soksertéjűek) az ízeltlábúak rokonai, mivel mindkettő csoport teste szelvényezett. Ez a kapcsolat, mint meglátjuk, ma tévesnek tűnik: manapság a gyűrűsférgeket a puhatestűekkel állítják párba. Valójában mindig is aggodalomra adott okot, hogy a tengeri gyűrűsférgek lárvája annyira hasonlít számos tengeri puhatestű lárváira, hogy ugyanazt a nevet: „trochophora" (koszorúslárva) nevet kapta. Ha a gyűrűsféreg-puhatestű csoportosítás igaz, akkor ez azt jelenti, hogy a szelvényes testfelépítést találták föl kétszer (a gyűrűs-

26. köz-ős
A kép ezt a féregszerű közőst tengerfenéklakóként ábrázolja. A test sorozatban ismétlődő részekből épül föl, az egyik felén fejjel és átlesztő bélcsatornával. A fejen szájnyílás lehetett, amit a táplálkozást segítő nyúlványok vehettek körül. Ugyancsak valószínű, hogy szemei is voltak.

férgek és az ízeltlábúak), és nem a trochophora lárvát (a gyűrűsférgek és a puhatestűek). A gyűrűsférgek társítása a puhatestűekkel és elválasztása az ízeltlábúaktól az egyik legnagyobb meglepetés, amivel a molekuláris genetika szolgált a morfológiára épülő taxonómián felcseperedett zoológusoknak.

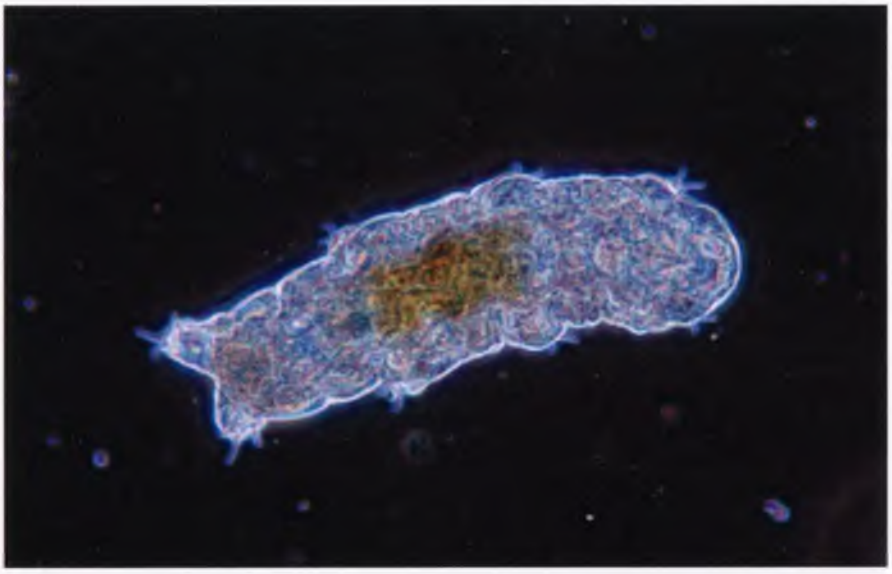
A molekuláris bizonyítékok az ősszájúak törzseit két vagy talán három fő csoportra: szupertörzsre – talán nevezhetjük így őket – osztják föl. Néhány szaktekintély még nem fogadta el ezt az osztályozást, én mégis ennek mentén haladok, bár elismerem, hogy akár téves is lehet. A két szupertörzset Ecdysozoának, illetve Lophotrochozoának nevezik. A harmadik szupertörzs, amelyet még kevesebben ismernek el – én azonban inkább elfogadom, semmint némelyek módjára összevonjam a Lophotrochozoával –, a Platyzoa.

Az Ecdysozoák *ecdysis* nevű, jellegzetes vedlési szokásukról kapták a nevüket (a görög *ekdüszisz* szó körülbelül annyit tesz, hogy 'ledobni a holmit'). Ez kapásból arra utal, hogy a rovarok, a rákfélék, a pókok, az ezerlábúak és százlábúak, a trilobiták mind Ecdysozoák, ami viszont azt jelenti, hogy az ősszájú zarándoklat Ecdysozoa frakciója valóban igen nagy, jóval több faj alkotja, mint az egész állatvilág háromnegyede. Az ízeltlábúak uralják a szárazföldet (különösen a rovarok és a pókok) és a tengereket (rákok és korábban a trilobiták) egyaránt. Az eurypteridák, e paleozoikumbeli tengeri skorpiók* kivételével – amelyek feltevésünk szerint terrorizálták a korabeli halakat – az ízeltlábúak nem érték el némely szélsőséges gerinces hatalmas testméreteit. Ezt gyakran tulajdonítják azoknak a korlátoknak, amelyeket az állít elébük, hogy magukat páncélos külső vázba zárták, és végtagjaik szorosan illeszkedő csövek. Ez azzal jár, hogy csak vedléssel képesek növekedni: azaz szabályos időközönként meg kell szabadulniuk külső borításuktól, és egy új, nagyobbat kell megszilárdítaniuk. Számomra nem egészen világos, az eurypteridáknak hogyan sikerült magukat kivonni eme állítólagos méretbeli korlátozás alól.

Elhúzódó vita zajlik az ízeltlábúakon belüli alcsoportok beosztásáról. Egyes zoológusok azt a korábbi nézetet képviselik, hogy a rovarok a rákoktól elkülönülve a Myriapodákkal (százlábúak, ezerlábúak és rokonaik) tartoznak össze. A többség viszont a rovarokat a rákokkal kapcsolja össze, míg az ezerlábúakat és a pókokat külön csoportként taglalják. Mindenki egyetért abban, hogy a pókok és a skorpiók, a félelmetes eurypteridákkal együtt a Chelicerata (csáprágósok) altörzsébe tartoznak. A sajnálatosan patkóráknak is nevezett, élő kövület tőrfarkút, a *Limulus*t a kihalt trilobitákra való felületes hasonlósága ellenére ugyancsak a csáprágósok közé sorolják. A trilobiták külön csoportba tartoznak.

Az ízeltlábú Ecdysozoán belül találjuk a zarándokok két kis osztagát, amelyeket olykor pánízeltlábúaknak is neveznek, az Onychophorákat (karmosak) és a Tardigradákat (medveállatkák). Az Onychophorákat vagy bársonyférgeket, mint amilyen a *Peripatus* is, ma a Lobopodia törzsbe sorolják, amely egy fontos kövületcsoport, miként az *A bársonyféreg meséjé*ből kiderül. Maga a *Peripatus* egy meglehetősen megnyerő küllemű hernyóra hasonlít, bár ebben a tekintetben a Tardigradák lekörözik. Ha úgy adódik, hogy Tardigradát látok, mindig szeretném házikedvencként megtartani. A Tardigradákat medveállatkáknak is nevezik, mert egy medvebocshoz hasonlóan ennivaló a megjelenésük. Ami azt illeti, bizony meglehetősen parányi medvebocs, mivel mikroszkóp nélkül éppen csak láthatók, amint a gyermeki ügyefogyottság varázsát keltve mozgatják nyolc csökött lábukat.

* A paleozoikumban a szárazföldön is éltek hatalmas skorpiók, melyeket egy méter hosszúra becsülnek, s e tényt nem fogadom közömbösen (egyik legkorábbi emlékem, mielőtt elájultam volna, hogy megcsípett egy mai afrikai skorpió). A legnagyobb ismert trilobita, az *Isotelus rex* elérte a 72 centiméteres hosszúságot. A karbonban élték virágkorukat a 70 centiméter szárnyfesztávolságú szitakötők. A ma élő legnagyobb ízeltlábú a japán tengeripók, a *Macrocheira kaempferi* teste 30 centiméteres, a rendkívül megnyúlt ollós végtagjai közti fesztávolság pedig akár négy méter is lehet.



A GYERMEKI ÜGYEFOGYOTTSÁG VARÁZSA
Tardigrada vagy medveállatka

Az Ecdysozoa szupertörzsön belüli másik főtörzs a Nematodáké, a fonálférgeké. Ők is rendkívül sokan vannak, amire Ralph Buchsbaum, amerikai zoológus már régen felhívta a figyelmet:

> Ha a Nematodák kivételével az univerzum összes anyagát elsöpörnék, világunk még akkor is halványan felismerhető lenne... hegyeinket, dombjainkat, völgyeinket, tavainkat és óceánjainkat a Nematodák vékony rétege alapján találnánk meg... Utcáink és útjaink képviseletében kísérteties sorokban állnának továbbra is a fák. A különböző növények és állatok holléte még így is azonosítható lenne, sőt, ha elég tudománnyal bírnánk, sok esetben még a fajuk is meghatározható lenne, pusztán hajdani Nematoda-parazitáiknak vizsgálatával.

Le voltam nyűgözve e képtől, amikor először olvastam Buchsbaum könyvét, de be kell vallanom, most újraolvasva, kételyeim támadtak. Mondjunk csak annyit, hogy a fonalférgek igen számosak, és mindenütt jelenvalók.

Az Ecdysozoa kisebb törzsei között találunk különféle egyéb férgeket, köztük a Priapulidákat vagy előgyűrűsférgeket. Az angol nevük: péniszféreg *(penis worm)* meglehetősen találó, bár e téren a bajnok egy *Phallus* nevű gombafaj (várjunk a 34. találkozásig). Első hallásra meglepő, hogy az előgyűrűsférgeket manapság oly messze helyezik a gyűrűsférgektől.



Péniszféreg

Lehetséges, hogy a Lophotrochozoa zarándokokat számbelileg túlszárnyalják az Ecdysozoák, de még így is jelentősen lekörözik a mi újszájú zarándokainkat. A két nagy Lophotrochozoa törzs a puhatestűeké és a gyűrűsférgeké. A gyűrűsférgek már hosszú ideje nem keverhetők össze a fonálférgekkel, mivel, ahogy láttuk, a gyűrűsférgek szelvényezettek – akárcsak az ízeltlábúak. Azt jelenti ez, hogy testük hosszanti irányban elhelyezkedő szelvényekből áll, mint egy vonatszerelvény. Számos testrész, így például az idegdúcok és a véredények is a bélcsatorna mentén futnak, és a test hosszában elhelyezkedő szel-

vényekben ismétlődnek. Ugyanez érvényes az ízeltlábúakra is, legnyilvánvalóbban az ezerlábúakra és százlábúakra, mivel az ő szelvényeik többnyire ugyanolyanok. Egy homárban, még inkább egy rákban, sok szelvény különbözik egymástól, de még így is világosan látszik, hogy testük hosszanti irányban szelvényezett. Őseiknek egy fatetűhöz vagy egy ezerlábúhoz hasonlóan nyilván még egyöntetűbb szelvényeik voltak.* A gyűrűsférgek ebben a tekintetben olyanok, mint az ezerlábúak vagy a fatetvek, bár a férgek közelebb állnak a nem szelvényes puhatestűekhez. A legismertebb gyűrűsféreg a kerti (ez egyszer a kifejezés kifejezetten találó) földigiliszta. Azon kiváltságosak közé tartozom, akik Ausztráliában láttak óriási földigilisztákat *(Megascolides australis)*, amelyekről úgy hírlik, hogy négy méter hosszúra is megnőnek.

* Akad néhány csodálatos ezerlábú – a szárazföldi ászka, amelyik úgy néz ki, és úgy is viselkedik, mint a fatetű.

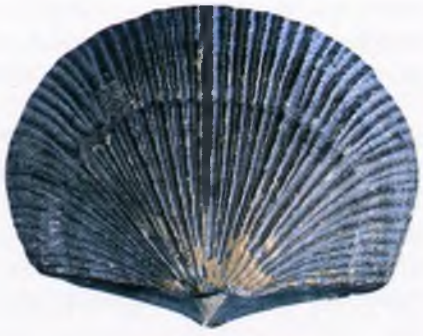
A Lophotrochozoák közé tartoznak a különböző egyéb féregszerű törzsek, így például a zsinórférgek (Nemertini), amelyeket ne tévesszünk össze a fonálférgekkel (Nematoda). Latin nevük hasonlósága sajnálatos, és nem segíti az ügyet, s ezt még csak bonyolítja két másik féregtörzs nevének hasonlósága, a húrférgeké (Nematomorpha) és a Nemertodermatidáké. A Nema vagy *nematosz* görögül 'fonalat' jelent, míg a Nemertész egy tengeri nimfa neve volt. Sajnálatos egybeesés. Lelkes zoológiatanárunkkal, I. F. Thomas úrral a skót partok mentén tett egyik terepgyakorlatunk során találtunk egy cipőfűzőférget, egy *Lineus longissimust*, egy zsinórféregfajt, amely a legendák szerint képes 50 méterre is megnőni. A mi példányunk legalább 10 méter hosszú volt, bár nem emlékszem a pontos méretekre, Thomas úr pedig sajnos elveszítette e felejthetetlen alkalomról készült fényképét, így ez már a halászlegendák zsinórféregváltozata marad.

Vannak más egyéb, többé-kevésbé féregszerű törzsek, ám a Lophotrochozoák legnagyobb és legnépesebb törzse a puhatestűeké: a csigáké, osztrigáké, ammonitáké, polipoké és rokonaiké. A zarándokok puhatestű osztaga többnyire csigatempóban csúszik, ám a tintahalak, egyfajta sugárhajtást alkalmazva a tengerek leggyorsabb úszói közé tartoznak. Ők és unokatestvéreik, a polipok, az állatvilág leghatékonyabb színváltói közé tartoznak, amelyek utcahosszal jobbak a közmondásos kaméleonoknál, nem utolsósorban azért, mert igen gyorsan változtatják a színüket. A tintahalak rokonai, az ammoniták csavaros héjban éltek, amely lebegtetőszervként szolgált, akárcsak a máig fennmaradt *Nautilus* esetében. Az ammoniták, amelyektől egykor hemzsegett a tenger, végül a dinoszauruszokkal együtt haltak ki. Remélem, ők is színváltók voltak.

A puhatestűek másik nagy csoportját a kéthéjúak alkotják: osztrigák, éti és tengeri kagylók, fésűskagylók: vagyis akiknek két héja vagy teknője van. A kéthéjúak rendelkeznek egy rendkívül erős izommal, a záróizommal, amelynek az a szerepe, hogy a ragadozók elleni védekezésül összezárja a héjakat, és zárva is tartsa. Ne tegyük a lábunkat egy óriáskagylóba *(Tridacna)*, mert soha nem látjuk viszont. A kéthéjúak közé tartoznak a *Teredó*k, vagy hajóférgek is, amelyek héjukat vágószerszámként használva fúrják át magukat az uszadék fákon, fa hajótesteken és a mólók vagy a rakpartok cölöpjein. Talán már az olvasó is látta tisztán kör alakú járataikat. A fúrókagylók valami hasonlót művelnek a kőzetben.

Felületesen a kéthéjú kagylókra hasonlítanak a Brachiopodák vagy pörgekarúak. Ők is az ősszájú zarándokok nagy Lophotrochozoa osztagához tartoznak, de nincsenek közeli rokonságban a kéthéjú puhatestűekkel. Egyikükkel, a *Linguláva*l, mint nevezetes „élő kövülettel", már találkoztunk *A tüdős hal meséjé*ben. Ma csak körülbelül 350 pörgekarúfaj él, de a paleozoikumban versenyre keltek a kéthéjú

puhatestűekkel.* A köztük lévő hasonlóság felületes: a kéthéjúak két héja bal és jobb oldali, pörgekarúaké felső és alsó. A pörgekarú zarándokok és a két másik Lophophorata-csoport, a szövetséges csöves tapogatósok (Phoronidea) és a mohaállatok (Bryozoa) státusa még mindig vitatott. Miként már említettem, a jelenlegi meghatározó felfogást követem, és Lophotrochozoák közé helyezem őket (amely névhez ők is hozzájárultak). Némely zoológus korábbi helyükön, teljesen az ősszájúakon kívül és az újszájúak között hagyja őket, de azt gyanítom, a csatát elvesztették.



Ceci n'est pas une coquille (ez nem kagyló)
Fosszilis pörgekarú *(Doleorthis)* a szilurból

Az ősszájúak harmadik nagy szupertörzsét, a Platyzoát néhány szakértő a Lophotrochozoákhoz csapná. A „Platy" 'laposat' jelent, s a Platyzoa név az egyik alkotó törzs, a laposférgek (Platyhelminthes) nevéből ered. A „helminth" annyit jelent, mint 'bélféreg', és bár némely laposféreg parazita (galandférgek, mételyek), van egy jelentős szabadon élő laposféregcsoport is, az örvényférgeké (Turbellaria), amelyek gyakran igen szépek is. Újabban némelyik, hagyományosan laposféregként osztályozott állatot, így például a bélüreg nélküli laposférgeket (Acoela), a molekuláris taxonómusok teljesen kivettek az ősszájúak közül. Nemsokára találkozunk velük.

Más törzseket ideiglenesen helyeztek a Platyzoába, de pillanatnyilag nincs biztosabb helyük, és többnyire nem laposak. Az úgynevezett „kisebb törzsek" közé tartozván, a maguk nemében elragadóak, és mindegyik megérdemel egy külön fejezetet a gerinctelen zoológia tankönyvében. Sajnos azonban zarándoklatunk befejezésre vár, és tovább kell haladnunk. E kisebb törzsek közül a kerekesférgeket említem csupán, mert ők tartogatnak számunkra egy mesét.

A kerekesférgek olyan kicsik, hogy eredetileg az egysejtű, protozoa „állatkák" közé sorolták őket. Valójában azonban soksejtűek, és kicsiben elég bonyolultak. Egyik csoportjuk, a Bdelloidea kerekesférgeké azért figyelemre méltó, mert hímjét még soha nem látták. Erről szól a meséjük, amire hamarosan sort is kerítünk.

Így, az ősszájú zarándokok közeli és távoli mellékfolyókból álló eme hatalmas áradata, mely az állat zarándokok valóban meghatározó folyama, ezen a találkozáson egyesül az újszájúakkal, a (viszonylag) fiatal alakulattal, amelyeknek útját ama elégséges oknál fogva, hogy ez a miénk, mindeddig követtük. Mindkettőnk ősét, emberi szempontból a 26. köz-őst ily időtávlatból rendkívül nehéz rekonstruálni.

Nagyon valószínűnek tűnik, hogy a 26. köz-ős valamiféle féreg volt. De ez csak annyit jelent, hogy valami hosszú, kétoldali szimmetriájú lény volt, bal és jobb oldallal, hát- és hasoldallal, fejjel és farokvégződéssel. Valójában némely tudós a Bilateria névvel illette a 26. köz-őstől leszármazott valamennyi állatot, és én is használom ezt a szót. Vajon miért ilyen elterjedt a féregszabvány? Mindhárom ősszájú alcsoport legprimitívebb tagjai és a legprimitívebb újszájúak egyaránt olyan alakúak, amelyet általában féregalaknak kell neveznünk. Úgyhogy hallgassunk meg egy mesét arról, mit jelent féregnek lenni!

A féreg meséjét a világítóféreg szürke és iszapos szájába akartam adni.* Sajnos a világítóféreg ideje zömét egy U alakú üregben tölti, amire éppen nincs szükségünk

* Stephen Gould az „Éjszaka járó hajók" című szép esszében vetette össze őket.

* *„A világítóféreg szürke*
és iszapos szájából hangzik
az ének, hogy valamerre északon vagy nyugaton vagy délen
él egy vidám, örömteli,
kedves faj..."
W. B. YEATS (1865–1939)

a meséhez, amint az rögvest kiderül. Ennél jellegzetesebb féreg kell nekünk, amely aktívan mászik vagy úszik előrefelé, és amely számára első és hátsó, bal és jobb, fent és lent világos jelentéssel bír. Így a tengeri gyűrűsféreg közeli unokatestvére, a százlábúféreg vagy *Nereis* veszi át a szerepet. Egy 1884-es magazin horgászoknak szóló cikkében ez áll: „A használandó csali az a nyirkos százlábú, amit százlábúféregnek neveznek." Természetesen nem százlábúról, hanem egy soksertéjű féregről van szó. Tengerben él, ahol normál esetben a fenéken mászik, de ha szükséges, úszni is tud.

A SZÁZLÁBÚFÉREG MESÉJE

Bármely állatnak, amely abban az értelemben mozog, hogy megteszi A és B közti távolságot, és nem egy helyben ül, karjait mozgatva, vagy átpumpálva magán a vizet, vélhetően megkülönböztetett első végre van szüksége. Ennek feltehetően neve is van, nevezzük hát fejnek. A fej ütközik bele először az újdonságba. Nagyon is van annak értelme, hogy azon a végünkön vegyük magunkhoz a táplálékot, amely azzal először találkozik, és hogy oda összpontosítsuk az érzékszerveket is – esetleg a szemeket, valamifajta érzékelőket, ízlelő- és szaglószerveket. Emellett úgy a legjobb, ha az agy is, az idegszövet fő csoportosulása, elöl található – ott, ahol az érzékszervek és a tettlegességet végző élelmiszer-megfogó készségek is vannak. Így a fejes véget a vezető végként határozhatjuk meg, ahol a száj, a fő érzékszervek és az agy helyezkedik el, ha van. Ugyancsak jó ötlet, ha a hulladékot valahol a hátsó fertály közelében ürítjük ki, hogy elkerüljük az éppen kibocsátott anyagok újbóli felszívását. Egyébként, bár mindennek értelme van, ha a férgekre gondolunk, emlékeztetnem kell az olvasót, hogy ezek az érvek nyilván nem vonatkoznak az olyan sugaras szimmetriájú állatokra, mint a tengericsillag. Általában gondolkodóba ejt, hogy a tengericsillagokra és rokonaikra miért nem vonatkozik ez az érvelés, és éppen ez az egyik oka annak, hogy „marslakónak" neveztem őket.

Visszatérve hosszanti szimmetriájú ősi férgünkhöz, vajon mi volt a helyzet a fent-lent szimmetriával? Miért van háti és miért hasi oldal? Az érvelés hasonló, és ez vonatkozik a tengericsillagra éppúgy, mint a férgekre. Tekintettel a tömegvonzásra, rengeteg elkerülhetetlen különbség van fent és lent között. A lent az, ahol a tengerfenék van, a lent az, ahol a súrlódás van, a fent az, ahonnét a napfény jön, a fent az az irány, ahonnét a dolgok ránk esnek. Nem valószínű, hogy alulról és felülről egyformán fenyegetne a veszély, és azok a veszélyek feltehetően mennyiségileg különbözőek. Így primitív férgünknek kell egy specializált felső vagy „háti" oldal, és egy specializált alsó vagy „hasi" oldal, ahelyett hogy fittyet hányna arra, melyik oldala mered a tengerfenékre, és melyik néz a napra.

Tegyük hozzá az első-hátsó aszimmetriánkat háti-hasi aszimmetriánkhoz, és automatikusan meg is kapjuk a bal oldalt és a jobb oldalt. Ám ellentétben a két másik tengellyel, önmagában nem találunk okot a bal és a jobb oldal megkülönböztetésére: nincs értelme annak, hogy ne egymás tükörképei legyenek. Nem fenyeget nagyobb valószínűséggel veszély balról, mint jobbról, vagy fordítva. Táplálékot sem találunk nagyobb valószínűséggel a bal, mint a jobb oldalon, viszont valószínűbb, hogy fent vagy alul van. Bármiként legyen is a legjobb a bal oldalon, nincs olyan általános ok,

amelynél fogva a jobb oldalon másra számíthatnánk. Az olyan végtagok vagy izmok, amelyeknek nem lenne bal-jobb tükörképe, kedvezőtlen hatást gyakorolnának azzal, hogy körbe-körbe vezetnék az állatot ahelyett, hogy valamely cél követésére ösztökélnék.

Meglehet, árulkodó módon a legjobb példa, ami eszembe jut, képzeletbeli. Egy skót legenda szerint (amit talán csak a turisták kedvéért találtak ki, és állítják róla, hogy sokan hisznek benne) a haggis a Felföldön élő vadállat, amelynek egyik oldalán rövid, a másikon hosszú lábai vannak, hogy megfeleljenek azon szokásának, hogy a meredek felföldi hegyoldalaknak csak az egyik oldalán futnak. A legtalálóbb valódi példa, amely eszembe jut, az ausztráliai vizekben élő gyengeszemű drágakő tintahal, amelynek bal szeme jóval nagyobb, mint a jobb. Negyvenöt fokos szögben úszik, miközben a nagyobbik, teleszkópos bal szemével felfelé nézegetve táplálékot keres, míg a kisebb jobb szeme lefelé, a ragadozókra ügyel. Az új-zélandi ferdecsőrű lile csőre erősen jobbra görbül. Ezzel pöccenti félre a kavicsokat, és tárja fel a zsákmányt. Meghökkentő „egykezesség" látható az integetőrákok esetében, amelyeknek egyik ollója hatalmasra nőtt a viaskodáshoz vagy inkább harckészségük közszemlére állításához. Ám az állatvilág aszimmetriáinak talán leginkább zavarba ejtő esetéről Sum Turveytől hallottam. A trilobita kövületeken gyakran láthatók harapásnyomok, amelyek arról árulkodnak, hogy kis híján ragadozóknak estek áldozatul. Az elképesztő az, hogy e harapásnyomok 70 százaléka a jobb oldalon található. Vagy a trilobiták figyeltek aszimmetrikusan a ragadozókra, mint a gyengeszemű drágakő tintahal, vagy a ragadozók támadási stratégiája volt aszimmetrikus.

Ám mindezek kivételek, amelyeket különösségük mellett csak azért említünk, mert árulkodó ellentétet képeznek primitív férgeink és utódaik szimmetrikus világával szemben. Mászó őstípusainknak volt egymást tükröző jobb és bal oldala. A szervek hajlamosak párban kifejlődni, és ahol kivételre bukkanunk, mint a gyengeszemű drágakő tintahal esetében, azt észrevételezzük, és megmagyarázzuk.

Mi a helyzet a szemekkel? Vajon az első kétoldalasoknak voltak szemeik? Nem elég, ha annyit mondunk, hogy a 26. köz-ős valamennyi utódjának vannak szemei. Nem elég, mert a különböző szemek igen eltérőek: olyannyira, hogy becslések szerint „a szem" több mint negyvenszer alakult ki egymástól függetlenül az állatvilág különböző pontjain.* Hogyan egyeztetjük ezt össze azzal a kijelentéssel, hogy a 26. köz-ősnek voltak szemei?

Hogy az intuíciónak átadjam a kormányt, hadd szögezzem le mindenekelőtt: ami állítólag negyvenszer függetlenül kialakult, az nem a fényérzékelés volt önmagában, hanem a leképező optika. A gerincesek kameraszeme és a rákfélék összetett szeme egymástól függetlenül alakította ki az optikáját (gyökeresen eltérő alapelvekre építve). Ám mindkét fajta szem egy, a közös ősben (a 26. köz-ősben) meglévő szervből származik, amely vélhetően valamiféle szem lehetett.

A bizonyíték genetikai és meggyőző. A *Drosophila* nevű gyümölcslégyben van egy *szemnélküliség* nevű gén. A genetikusoknak megvan az a perverz szokásuk, hogy a géneket arról nevezik el, ami mutációjukkor elromlik. A *szemnélküliség* gén normál esetben azzal mond ellent nevének, hogy szemet készít. Ha mutálódik, és nem tudja kifejteni normális hatását, akkor a légynek nincs szeme, innen a név. A továbbiakban a *szemnélküliség* (eyeness) gént rövidítve *ey*-ként emlegetem. Azt, hogy az *ey* gén rendesen szemet készít, abból tudjuk, hogy ha elromlik, a legyek szemetle-

* Részletesen taglaltam ezt a kérdést a *Climbing Mount Improbable* (A Valószínűtlenség hegyének meghódítása) című könyvemnek „A megvilágosodás negyven útja" című fejezetében. E könyv végén visszatérek még a kérdésre.

nek. A történet itt kezd érdekessé válni. Az emlősökben egy ehhez rendkívül hasonló gént, találunk, a *Pax6*-ot, amely az egerekben *kis szemként*, az emberekben *aniridia* (írisznélküliség) néven ismeretes (amely megint csak mutáns alakjának negatív hatásáról kapta a nevét).

Az emberi *aniridia* gén DNS-szekvenciája jobban hasonlít a gyümölcslégy *ey* génjéhez, mint más emberi génekhez. Ezeket minden bizonnyal a közös őstől örököltük, amely természetesen nem volt más, amint a 26. köz-ős. Ezeket is *ey*-ként emlegetem. A svájci Walter Gehring és kollégái egy végképp elképesztő kísérletet végeztek. Az *ey* gén egérben található megfelelőjét bevitték a gyümölcslégybe, és döbbenetes eredményt kaptak. Amikor a gyümölcslégyembriók azon részébe vitték be, amelyből a láb alakult ki, hatására a kifejlett gyümölcslegyek a lábukon egy többlet „külső" szemet fejlesztettek. Egyébként légyszemet: összetett szemet, és nem egérszemet. Nem hiszem, hogy lenne bizonyíték arra, hogy a légy lát is vele, de egy tiszteletre méltó összetett szem félreérthetetlen jegyeit viselte. Úgy tűnik, az *ey* gén a következő utasítást adta: „növessz ide egy olyan szemet, amilyet normál esetben növeszteni szoktál". Az a tény, hogy a gén nem csupán hasonló az egerekben és a legyekben, hanem mindkettőben a szemfejlődés kiváltója is, nagyon erős bizonyítéka annak, hogy jelen volt a 26. köz-ősben is; és közepesen erős bizonyíték arra, hogy a 26. köz-ős látott is, még ha csupán a fény jelenlétét vagy hiányát is. Talán, ha majd több gént vizsgálnak meg, ugyanezt az érvet általánosítani lehet a szem mellett más testrészekre is. Valójában bizonyos értelemben erre már sor is került – erről szól majd *A gyümölcslégy meséje*.

A már kifejtett okoknál fogva az elülső végen ülő agynak idegi kapcsolatban kell állnia a test többi részével. Egy féreg alakú állat esetében érthető, hogy ezt egy fővezeték, egy fő idegtörzs segítségével kell megteremteni, amely hosszában fut végig a testen, esetleg bizonyos szakaszonként oldalágakkal, amelyek elvégzik a helyi szabályozást, és begyűjtik a helyi információkat. Egy kétoldali szimmetriájú állatnál, mint amilyen egy százlábúféreg vagy egy hal, a törzsidegnek az emésztőrendszer háti vagy hasi oldalán kell futnia, s itt bukkanunk az egyik legdöntőbb különbségre egyfelől mi, újszájúak, másfelől az ily nagy erőkkel hozzánk csatlakozott ősszájúak között. Bennünk a gerincideghúr a háton fut, míg egy olyan jellegzetes ősszájúban, mint a százlábúféreg vagy a százlábú, a bélcsatorna hasi oldalán található.

Ha a 26. köz-ős valóban valamiféle féreg volt, feltehetően vagy a háti, vagy a hasi beidegezési mintát követte. Nem mondhatom, hogy az újszájú vagy az ősszájú mintát, mivel a kétfajta elkülönülés nem esett egybe teljesen. A makkférgek (ezek a meglehetősen homályos újszájúak, amik a tüskésbőrűekkel érkeztek a 25. találkozáshoz) elég nehezen értelmezhetők, de legalábbis egyes nézetek szerint az ősszájúakhoz hasonló hasi idegszáluk van, noha más szempontból az újszájúak közé sorolják őket. Hadd osszam föl ehelyett az állatvilágot hátideghúrosokra és hasideghúrosokra. A hátideghúrosok valamennyien újszájúak. A hasideghúrosok néhány korai újszájú kivételével – amik közé talán a makkférgek is tartoznak – többnyire ősszájúak. A tüskésbőrűek figyelemre méltó visszatérésükkel a sugaras szimmetriához egyáltalán nem illenek ebbe a felosztásba. Talán az újszájúak, ahogy mondom, a 26. köz-őstől kissé tovább maradtak hasideghúrosok.

A hátideghúrosok és a hasideghúrosok közti különbség a testen végigfutó fő idegvezeték helyzetén túl egyebekre is kiterjed. A hátideghúrosoknak hasi, míg a

hasideghúrosoknak háti szívük van, amely a fő hátartériában hajtja előre a vért. Ezek és egyéb részletek sugalmazták a nagy francia zoológusnak, Geoffroy St Hilaire-nek 1820-ban azt a képzetet, hogy a gerinceseket fölfordított ízeltlábúként vagy földigilisztaként is el lehetne gondolni. Darwin után és az evolúció elfogadását követően a zoológusok időről időre fölvetették, hogy a gerincesek testalkata ténylegesen átesett egy valóban fordított, féregszerű ős fokozaton.

Ezt az elméletet képviselem itt magam is, mértékkel és némi fenntartással. A másik elgondolás, miszerint a féregszerű ős fokozatosan átalakította belső anatómiáját, miközben ugyanolyan testhelyzetben maradt, kevésbé tűnik hihetőnek, mivel nagyobb mérvű belső felbolydulással járt volna. Úgy hiszem, először jött a viselkedésváltás – evolúciós léptékben hirtelen –, ami egész sor evolúciós változást indított el. Mint oly sok esetben, az eszmét itt is egy mai élő példa teszi elevenebbé.

A LEVÉLLÁBÚ RÁK MESÉJE

A levéllábú rákok, az *Artemia* és közeli rokonaik, a vízibolhák, olyan rákok, amelyek a hátukon úsznak, ezért ideghúrjuk (vagyis „valódi" zoológiai hasi oldaluk) a jelenleg az ég felé néző oldalon található. A zömök hátonúszóharcsa, a *Synodontis nigriventris*, ez az újszájú, ugyanezt megfordítva műveli. Ez a hal a hátán úszik, ezért a fő törzsidege a folyófenék felé néző oldalán, vagyis „igazi" zoológiai hátoldalán van. Azt nem tudom, a levéllábú rákok miért úsznak fordítva, de a hátonúszóharcsa azért cselekszik így, mert a víz felszínéről vagy a felszínen úszó levelek alsó részéről szedi össze a táplálékát. Feltehetően egyes halak felfedezték a táplálékszerzés e hatékony módját, és megtanulták, hogyan forduljanak a hátukra. Úgy sejtem,* hogy a generációk múltával a természetes kiválasztódás azoknak az egyedeknek kedvezett, amelyek legjobban művelték a trükköt, génjeik a tanulás révén „felszedődtek", és ma már nem is úsznak másként.

A levéllábú rák fordított helyzete egy olyan folyamat közelmúltbeli újrajátszásának köszönhető, amely szerintem több mint félmilliárd éve történt. Egy ősi, rég elveszett állat, az ősszájúak módjára hasi ideghúrral és hátoldali szívvel rendelkező egyfajta féregféle megfordult, és fordítva úszott vagy mászott, akár egy levéllábú rák. Az eseménynél esetleg jelen lévő zoológus inkább vállalta volna a halált, semmint hátinak keresztelje el a fő ideghúrt csak azért, mert az most az ég felé néző testoldalon futott. Teljes zoológiai képzettsége „nyilvánvalóan" azt mondatta volna vele, hogy továbbra is hasideghúrrról van szó, a többi olyan szervnek és tulajdonságnak megfelelően, amelyeket egy ősszájú hasi oldalán a várakozásainknak megfelelően láthatunk. Prekambriumi zoológusunknak éppígy „nyilvánvaló" lenne, hogy fordított férgünk szíve mélyebb értelemben „hátoldali" szív, még akkor is, ha most a tengerfenékhez közelebb eső bőr alatt dobog.

Ha azonban elegendő időt adnánk – elegendő évmilliót a „fordítva" úszásra vagy mászásra –, a természetes kiválasztódás nekilátna valamennyi testi szerv és szerkezet átformálásához, hogy azok megfeleljenek a fordított szokásoknak. Végül – ellentétben a mi mai levéllábú rákunkkal, amely csak nem olyan régen fordult meg – az eredeti háti-hasi megfelelések nyomai lassan elmosódnának. Az e korai pártonkívüli utó-

* A Baldwin-hatásként ismert elmélet nyomán. Felületesen úgy hangzik, mint a lamarcki evolúció, és a szerzett tulajdonságok öröklődése, erről azonban szó sincs. A tanulás nem hagy lenyomatot a génekben. A természetes kiválasztódás viszont kedvez a bizonyos dolgok megtanulására való genetikai hajlamnak. Az ilyen kiválasztódáson átesett generációk után a kialakult utódok oly gyorsan tanulnak, hogy a viselkedés „ösztönössé" válik.

daival néhány tízmillió évnyi fordítva élés után találkozó paleozoológusok későbbi nemzedékei hozzálátnának, hogy átfogalmazzák a háti és hasi fogalmakat, hiszen az evolúciós időtartam alatt oly sok anatómiai részlet megváltozott volna.

A molnárpoloskák és a tengeri vidrák ugyancsak a hátukon úszó állatok közé tartoznak (az utóbbiak különösen akkor, amikor egyedülálló szokásukat gyakorolva a hasukon kővel törik föl a kagylókat). A hátúszóknak is nevezett molnárpoloskák a folyók felszínén sikló bogarak. A keringőke valami hasonlót művel, csak éppen nem fordítva.

Képzeljük el, hogy egyfelől a mai molnárpoloskáink vagy levéllábú rákjaink, másfelől mai hátonúszóharcsáink utódai megőriznék a fordítva úszás szokását a jövőben több százmillió évig. Vajon nem teljesen valószínű-e, hogy mindegyikük egy egész új alcsoportot hozna létre, hiszen testalkatukat olyannyira átformálná a fordított életmód, hogy a történetüket nem ismerő zoológusok a levéllábú rák utódairól azt állapítanák meg, hogy „háti" ideghúrral, míg a hátonúszóharcsa utódairól azt, hogy „hasi" ideghúrral rendelkeznek.

Miként azt *A százlábúféreg meséjé*ben láttuk, a világ fontos gyakorlati különbségeket mutat a fent és lent között, és ezek a természetes kiválasztódás révén nyomot hagyhatnak az ég felé néző, illetve a föld felé néző oldalon. Ami zoológiailag hajdan hasi oldal volt, egyre inkább kezd a zoológiai háti oldalra hasonlítani, és megfordítva. Úgy vélem, pontosan ez történhetett valahol a gerincesekhez vezető vonalon, és ennek következtében van ma háti idegszálunk és hasi szívünk. A modern molekuláris embriológia nyújt néhány megerősítő bizonyítékot arról, hogy a háti–hasi tengelyt meghatározó gének – kissé *A gyümölcslégy meséjé*ben felbukkanó Hox-génekhez hasonló gének – miként fejeződnek ki, de a részletek nem ide tartoznak.

A hátonúszóharcsa, amelyeknek fordított életmódja kétségtelenül nem régi, máris tett egy kis árulkodó lépést ebbe az evolúciós irányba.* Latin neve *Synodontis nigriventris*. *Nigriventris* annyit jelent, mint 'sötéthasú', és ez elragadó záródíszt illeszt a levéllábú rák meséjének végére. A világban az egyik legnagyobb különbség a fent és lent között a fény uralkodó iránya. Ha nem is szükségszerű, hogy pontosan függőlegesen, azért a napsugarak általában mégis inkább felülről, mint alulról jönnek.

Emeljük föl az öklünket, és meglátjuk, hogy még borult ég mellett is jobban megvilágított a fenti felülete, mint az alsó. Márpedig e tény annak lényeges módjára irányítja rá a figyelmet, ahogyan mi és sok egyéb állat is felismerhetjük a szilárd, háromdimenziós tárgyakat. Valamely egyszínű, görbe test, mint amilyen egy féreg vagy egy hal, világosabb felül, mint alul. Nem a test által vetett árnyékra gondolok – ennél finomabb hatásról van szó. Az árnyalatfokozat, miszerint fent van a világos, lent a sötétebb árnyalat, simán elárulja a test görbületét.

A dolog fordítva is működik. Ez a holdkráterekről készült fénykép fordítva áll (lásd szemközt). Ha az olvasó szeme (pontosabban agya) ugyanúgy működik, mint az enyém, akkor a krátereket domboknak látja. Fordítsuk meg a könyvet, hogy a fény a másik irányból érje, és a dombok a valóságnak megfelelően kráterekké alakulnak.

Doktoranduszként végzett egyik első kísérletem kimutatta, hogy a tojásból frissen kikelt csibék mintha ugyanezt az illúziót látnák. Csipkedték, és úgy tűnt, erősen kedvelik a szimulált magvakról készült fényképeket, ha azokat úgy helyeztük el, mintha felülről kapnák a fényt. Amint megfordítottuk a fényképeket, messze kerülték őket. Úgy tűnik, ez azt mutatja, hogy a kiscsibék mintha „tudnák", hogy vi-

* Ugyanígy a *Glaucus atlanticus* nevű meztelenkopoltyús csiga. Ez a gyönyörű állat fordítva úszik, miközben hólyagmedúzákkal táplálkozik, és „fordítva ellenárnyalt", akár a hátonúszóharcsa (lásd szemközt).



Fordítsuk meg a halat! Hátonúszóharcsa *(Synodontis nigriventris)* jellegzetes pózban.

lágukban a fény rendesen felülről érkezik. Ám ha csak az imént keltek ki a tojásból, honnan tudják? Életük három napja alatt tanulták volna meg? Ez nagyon is lehetséges, de kísérletileg ellenőriztem, és kiderült, hogy nem így van. A növendék csibéket egy különleges ketrecben tettem próbára, amelyben csak alulról jövő fényt láthattak. Eme fordított világban a szemcsipegetésről szerzett tapasztalat csakis arra taníthatta volna őket, hogy a magvakról készült fordított képeket kedveljék. Ehelyett pontosan úgy viselkedtek, mint a felülről jövő fény valódi világában nevelt normális csibék. A genetikai programozás miatt valamennyi csibe egyértelműen a felülről megvilágított szilárd tárgyak fényképeinek csipegetését részesíteti előnyben. Úgy tűnik, a szilárdság illúziója* genetikailag programozódott a csibékbe – ezt mondjuk „veleszületettnek" –, és nem tanult, ahogy (sejtésem szerint) talán a mi esetünkben.

Akár tanult, akár nem, az kétségtelen, hogy a szilárdság felületi árnyalatainak illúziója igen erős. Ez váltotta ki az ellenárnyalásnak nevezett kifinomult álcázási formát. Figyeljünk csak meg egy vízből deszkára kiemelt tipikus halat, és észrevesszük, hogy hasának színe sokkal világosabb színű, mint a háta. A hát lehet sötétbarna vagy sötétszürke, míg a has világosszürke, ami néhány esetben a fehérbe megy át. És mire való ez az egész? Úgy tűnik, nem vitás, hogy egyfajta, annak az árnyalatfokozatnak az ellensúlyozására épülő álcázásról van szó, amely normális esetben elárulja, hogy itt egy szilárd, görbe testről – mondjuk egy halról – van szó. Minden lehetséges világok legjobbikában egy ellenárnyalt hal normális, fentről jövő fényben tökéletesen laposnak tűnik. A fenti világostól a lenti sötétig terjedő várt fokozatosságot pontosan ellensúlyozza a hal színének a lenti világostól a fenti sötétig terjedő fokozatossága.



Fordítsuk meg a könyvet! Kráterek a Hold túlsó oldalán.

* Ha nem tévedek, innen van a fény uralkodó irányának „ismerete" a valódi világban.

A taxonómusok gyakran a múzeumok kimúlt példányai alapján neveznek el fajokat.* Talán ez magyarázza a *nigriventrist* az *invertus* helyett, vagy bármi legyen is a „fordított" latin megfelelője. Ha egy deszkán megvizsgálunk egy hátonúszóharcsát, azt látjuk, hogy *fordítva* ellenárnyalt. Az égnek forduló hasa sötétebb, mint a fenék felé néző háta. A fordított ellenárnyalás azon csodásan elegáns kivételek közé tartozik, amelyek megerősítik a szabályt. Az első fordítva úszó harcsa bizonyára iszonyúan feltűnő lehetett. Bőrszíne a felülről jövő fény természetes árnyalásával összejátszva természetfölöttien szilárddá tette. Nem csoda, hogy a viselkedés megváltozását evolúciós időléptékben a bőrszínárnyalatok megfordulása követte.

Nem a halak az egyedüli állatok, amelyek álcázási trükként ellenárnyalást alkalmaznak. Öreg mesteremnek, Niko Tinbergennek, mielőtt Oxford kedvéért odahagyta volna Hollandiát, volt egy Leen De Ruiter nevű hallgatója, akinek a hernyók ellenárnyalását ajánlotta témaként. Sok hernyófaj pontosan ugyanazt a trükköt alkalmazza ragadozóival szemben (amelyek ez esetben madarak), mint a halak a magukéval szemben. A hernyók gyönyörűen ellenárnyaltak, ami azzal jár, hogy természetes fényben laposnak látszanak. De Ruiter fogta, és megfordította azokat az ágakat, amelyeken a hernyók ültek, mire azonnal sokkal feltűnőbbekké váltak, hiszen hirtelen jóval szilárdabbnak tűntek. És a madarak többet is szedtek össze belőlük.

Ha egy De Ruiter arra járna, és megfordítaná a harcsákat, hogy úgy ússzanak, mint más normális halak, vagyis zoológiai hátoldalukkal fölfelé, hirtelen jóval feltűnőbben szilárddá válnának.** A hátonúszóharcsa fordított ellenárnyalása csupán egy példája a viselkedésváltozást evolúciós mértékben követő, következményes változásoknak. Gondoljunk csak bele, újabb százmillió év múlva milyen átfogóan megváltozna egész testük. A „hátoldali" és „hasi" semmiképp sem szent és sérthetetlen. Helyet cserélhetnek, és szerintem a mai hátideghúrosok korai őseiben helyet is cseréltek. Én azt gyanítom, hogy a 26. köz-ős fő törzsidege a test hasi oldalán futott, mint bármely ősszájúnak. Hátunkon úszó, módosult férgek vagyunk, akik a valami rég elfeledett oknál fogva megfordult levéllábú rák korai megfelelőjétől származunk.

A levéllábú rák meséjének ennél általánosabb tanulsága a következő. Az evolúció jelentős átmenetei kezdődhetnek viselkedési szokások megváltozásával, talán még csak nem is genetikailag tanult szokásváltozásokkal, amelyeket csak később követ a genetikai evolúció. Elképzelem, hogy hasonló mesét mondhatna az elsőként repülő madárős, az első szárazföldre merészkedő hal, vagy a vízbe elsőként visszatérő bálnaős (ahogy Darwin képzelte a legyet fogó medve kapcsán). Egy vállalkozó kedvű egyed szokásváltoztatását később hosszú evolúciós felzárkózás és letisztulás követi. Ez a levéllábú rák meséjének legnagyobb horderejű tanulsága.

A LEVÉLVÁGÓ HANGYA MESÉJE

Miként az emberiség a mezőgazdasági forradalom idején, úgy a hangyák is önállóan találták föl a várost. A levélvágó hangyák, az *Attá*k egyetlen fészkének népessége meghaladhatja Nagy-Londonét. A fészek 6 méter mély és 20 méter kerületű, bonyolult föld alatti kamrarendszer, amely fölé valamivel kisebb kupola borul. Ez az

* Bár el kell ismernem, a hátonúszóharcsa életmódját mér régóta ismerték. Ábrázolása a szokásos testhelyzetében megjelenik az ógyiptomi festményeken és véseteken.

** Az olvasó feltehetné a kérdést, hogy egy kísérletező miként vehetne rá egy hátonúszóharcsát, hogy természetes hajlamai ellenére forduljon meg, de a választ nem tudom. Azt viszont igen, hogy csak egy kis címkével jelezzem, miként lehet egy levéllábú rákot rávenni arra, hogy normális rákként, vagyis zoológiai hátoldalával fölfelé ússzon. Csak világítsuk meg mesterséges fénnyel alulról, és azonnal megfordul. A levéllábú rákok nyilván a fény alapján döntik el, merre van felfelé. Nem tudom, a hátonúszóharcsák is ugyanezt a fogódzót használják-e. Ugyanígy használhatnák a gravitációt is.

alagúthálózattal összekötött, sok száz, sőt sok ezer külön kamrára tagolódó hatalmas hangyaváros kizárólag kezelhető darabokra vágott, és a munkások zizegő, széles zöld folyamban hazacipelt leveleken él. Ám a leveleket nem eszik meg közvetlenül, sem maguk a hangyák (bár a nedv egy részét felszívják), sem a lárvák. Ehelyett fá-



Zizegő, széles zöld folyamban cipelik haza a munkások
Levélvágó hangyák (*Atta*-faj) leveldarabokat cipelnek a fészek felé. Figyeljük meg a levélen utazó kis (cseppnyi) dolgozót.

radságosan komposztálják föld alatti gombakertészeteik számára. A hangyák a gombák kis kerek csomóit vagy „gongylidiáit" fogyasztják, pontosabban ezzel táplálják a lárvákat. Miután a hangyák leszüretelték a gombákat, azok nem fejlesztenek több spóratartó testet (amely megfelel az általunk fogyasztott gombák kalapjának). Ez a gombaszakértőket megfosztja attól a kulcstól, ami alapján általában meghatározzák a fajokat, ugyanakkor azt is jelenti, hogy maguknak a gombáknak a szaporodása a hangyáktól függ. Nyilvánvalóan úgy fejlődtek, hogy csak a hangyafészkek domesztikált környezetében boldogulnak, és így valódi példáját jelentik egy nem emberi földműves faj általi háziasításnak. Amikor a fiatal hangyakirálynő kirepül, hogy új telepet alapítson, értékes rakományt visz magával: egy kis gombatenyészetet, amellyel új fészkének első ágyását bevetik.*

A telep fenntartásához szükséges energiát végül is a komposzt készítéséhez felhasznált levelek nyerik a napból, hiszen a teljes levélfelület, egy nagy *Atta*-telep esetében holdakban mérhető. Érdekes módon a termeszek, ezek a másik, rendkívül sikeres városépítő rovarok ugyancsak függetlenül fedezték föl a gombakertészetet. Esetükben a komposzt megrágott fából készül. Akárcsak a hangyák és gombáik esetében, a termeszgombafajok is csak a termeszvárakban fordulnak elő, és szintén „domesztikáltnak" tűnnek. Amikor egy termeszgombának *(Termitomyces)* megengedik, hogy termékeny testet növesszen, az kihajt a termeszváron, és állítólag igen finom.**

* Az emberi párhuzamok folytatódnak. Amikor Florey, Chain és oxfordi munkatársaik a második világháború csúcspontján a penicillin kifejlesztésén munkálkodtak, és (jellemző módon) nem sikerült a brit gyártó cégek érdeklődését felkelteniük, elmentek Amerikába, ahol (megint csak jellemző módon) sikert arattak. Akár a hangyakirálynő, ők is magukkal vitték az értékes gombatenyészetet. Egy korábbi alkalommal, amikor Britanniát a német invázió fenyegette, Florey és fiatal kollégája, Heatley szándékosan megfertőzték ruháikat a penészgombával, mert ezt találták a legjobb módszernek a tenyészet megőrzésére.

** Csemegeként árusítják a bangkoki piacon. Az egyik nyugat-afrikai faj, a *Termitomyces titanicus*, egy méter átmérőjű kalapjával a *Guinness rekordok* könyve szerint a világ legnagyobb gombája.

Több hangyacsoport is függetlenül kifejlesztette azt a szokást, hogy tetveket tartanak „tejelő" háziállatokként. A hangyafészekben szimbiózisban élő más rovarokkal ellentétben, amelyek nem hajtanak hasznot a hangyáknak, a tetvek szabadon legelésznek, és szívogatják a növények nedveit, mint rendesen. Akárcsak az emlős tehenek, a tetvek is rengetek takarmányt bocsátanak át magukon, mert minden morzsából csak kis mennyiségű tápanyagot nyernek. A tetű hátsó felén megjelenő maradék cukros víz – „mézharmat" – csak alig valamivel kevésbé tápláló, mint az elöl bemenő növényi nedv. A hangyák által el nem fogyasztott mézharmat lepereg a tetvektől ellepett fákról, és könnyen hihetően vélik úgy, hogy ez lehet a Mózes első könyvében szereplő „manna" eredete. Nem meglepő, hogy a hangyák ugyanazon okból, mint Mózes követői, összegyűjtik. Némely hangyafaj azonban továbbmegy, és karámban tartja tetveit, védelmet nyújtva számukra, cserébe azért a lehetőségért, hogy „megfejhetik" a tetveket úgy, hogy hátsó felük csiklandozásával a mézharmat kiválasztására serkentik őket, amit a hangyák közvetlenül a tetvek végbélnyílásáról fogyasztanak el.

E házias létre válaszként legalábbis némely tetűfaj átalakult. Elveszítették a rendes tetvek néhány védekező megnyilvánulását, és egy zavarba ejtő felvetés szerint úgy módosították hátsó felüket, hogy az egy hangya arcára hasonlít. A hangyáknak ugyanis az a szokásuk, hogy a folyékony ételt szájból szájba adják át egymásnak, és a felvetés szerint azok a tetvek, amelyek kialakították a hátsó fertály arcutánzását, elősegítették „megfejésüket", és ezáltal a hangyák általi védelemhez jutottak a ragadozókkal szemben.

A levélvágó hangya meséje a mezőgazdaság alapjaként értelmezett késleltetett jutalmazásról szól. A vadászó-gyűjtögetők azt eszik, amit találnak, és amit elejtenek. A földművesek nem fogyasztják el vetőmagjukat, hanem eltemetik a földbe, majd hónapokig várnak a viszonzásra. Nem eszik meg a komposztot, amellyel megtrágyázzák a földet, és nem isszák meg az öntözővizet. Ők is mindezt a későbbi viszonzás reményében cselekszik. És a levélvágó jutott idáig elsőként. Gondolkodjunk el módszerein, és legyünk bölcsek!

A SÁSKA MESÉJE

A sáska meséje a fajiság vitás és érzékeny kérdésével foglalkozik.

Van egy európai sáskafajpár, a *Chorthippus brunneus* és a *C. biguttulus*, amelyek annyira hasonlítanak egymásra, hogy még a rovartan szakértői sem tudják őket megkülönböztetni, és bár néha összetalálkoznak, vadon soha nem kereszteződnek. Ez alapján „rendes fajoknak" minősülnek. Ám kísérletek kimutatták, hogy a nősténynek elegendő meghallania egy szomszédos ketrecben lévő fajtárs hím hívóhangját ahhoz, hogy örömmel párosodjon a másik faj egyik hímjével, abban a „hiszemben", vélhetnénk, hogy ő az énekes. Ez esetben egészséges és termékeny hibridek születnek. Erre vadon rendesen nem kerül sor, mert valamely nőstény nem szokott olyan helyzetbe kerülni, hogy bár közelében van, nem képes elérni saját faja éneklő hímjét ugyanakkor, amikor a másik faj hímje ugyancsak teszi neki a szépet.

Hasonló kísérleteket tücskökkel is végeztek, de itt a hőmérséklet volt a kísérleti változó. A különböző tücsökfajok más-más frekvencián ciripelnek, de a ciripelés frekvenciája függ a hőmérséklettől is. Ha az ember ismeri a tücsköket, egészen megbízható hőmérőként használhatja őket. Szerencsére nemcsak a hímek ciripelési frekvenciája, hanem a nőstények ezt felfogó érzékelése is hőmérsékletfüggő: és e kettő olyannyira egy ütemben változik, amely kizárja a téves fogamzást. Ha a kísérletben a nősténynek választási lehetőséget kínálnak két eltérő hőmérsékleten éneklő hím közül, az övével megegyező hőmérsékleten éneklő hímet választja. Az eltérő hőmérsékleten éneklő hímet úgy kezeli, mintha a másik fajhoz tartozna. Ha felmelegítünk egy nőstényt, választása a „melegebb" dalra esik, még akkor is, ha ezzel a másik faj hidegebb hímjét részesíti előnyben. Még egyszer mondom, ez rendesen nem fordul elő a természetben. Ha egy nőstény egyáltalán hall hímet, az nem lehet messzire, tehát valószínűleg ugyanolyan hőmérsékletű, mint ő.

A sáska éneke ugyanilyen módon hőmérsékletfüggő. Német tudósok ugyanazon sáskanem, a *Chorthippus* felhasználásával, amellyel a mesét kezdtük (bár a nem más fajaival) technikailag igen eredeti kísérleteket végeztek. Sikerült parányi hőmérőket (hőelempárokat) és apró villamos melegítőket szerelniük a rovarokra. Ezek olyan parányiak voltak, hogy a kísérletezők anélkül tudták melegíteni a fejet, hogy felmelegítették volna a tort, vagy fordítva. Megvizsgálták, hogy a nőstények a különböző hőmérsékleten ciripelő* hímek dalai közül melyiket kedvelik. Megállapították, hogy ami a nőstények énekek iránti előszeretetében számít, az a fej hőmérséklete. A ciripelés frekvenciáját viszont a tor hőmérséklete határozza meg. Szerencsére a természetben, ahol nincsenek parányi villamos melegítőkkel felbukkanó kísérletezők, természetesen a fej és a tor normális esetben azonos hőmérsékletű a hímnél és a nősténynél is. Így a rendszer működik, és hibridizációra nem kerül sor.

Elég gyakori eset, hogy olyan rokon fajpárokra akadunk, amelyek természetes körülmények között soha nem kereszteződnek, de emberi közbeavatkozásra igen. A *Chorthippus brunneus* és a *C. biguttulus* esete csupán egyetlen példa. *A bölcsőszájú hal meséje* egy hasonló példát említ a halak világából, ahol a monokróm fény megszüntette a különbséget a pirosas és a kékes fajok között. Aztán itt vannak az állatkertek. A biológusok az olyan fajokat, amelyek mesterséges körülmények között párosodnak, de a szabadban nem, általában külön fajokba sorolják, mint a sáskák esetében is. Ám szemben az állatkerti oroszlánokkal és tigrisekkel, amik hibridizálódva (steril) „ororisokat" és „tigszlánokat" produkálnak, a sáskák ugyanúgy néznek ki. Az egyedüli különbség az énekükben rejlik. Úgyhogy ez, és csakis ez az, ami elejét veszi kereszteződésüknek, és így ez okozza, hogy külön fajnak tartjuk őket. Az emberi lényekkel éppen fordított a helyzet. Úgyszólván emberfeletti politikai elvakultság kell ahhoz, hogy ne vegyük figyelembe a helyi populációk vagy fajták (rasszok) közti feltűnő különbségeket. A fajták mégis örömmel kereszteződnek, és egyhangúlag, ellentmondás nélkül soroljuk őket egyazon fajba. A sáska meséje a fajtákról és fajokról, a meghatározásukban rejlő nehézségekről szól, no és arról, mindez mit mondhat nekünk az emberfajtákról.

A *rassz* vagy *fajta* szó meghatározása nem egyértelmű. A *faj*jal, mint láttuk, más a helyzet. Ténylegesen létezik olyan módszer, ami alapján eldöntjük, hogy két állat ugyanabba a fajba tartozik-e: megnézzük, tudnak-e kereszteződni egymással. Nyil-

* A sáskák és a tücskök ciripelve képzik a hangot. A sáskák szárnyfedelükhöz dörzsölik a lábukat. A tücskök a két szárnyfedelet dörzsölik össze. A hangok hasonlóak, de a sáskáké általában búgóbb, a tücsköké jobban zenei. Az egyik éjjeli tücsök énekéről mondták, hogy ha a holdfényt hallanánk, akkor úgy hangozna, mint ez az ének. A kabócák meglehetősen mások. Mintha egy konzervdobozt pengetnénk, úgy pengetik a torfal bizonyos részét, egymás után és olyan gyorsan, hogy folytonos zúgásként hangzik, ami általában rendkívül hangos, és olykor szövevényes, méghozzá fajra jellemző módon.

ván nem, ha azonos neműek, túl fiatalok vagy öregek, netán egyikük történetesen terméketlen. De ezeket az akadékoskodásokat könnyedén kikerüljük. A kövületek esetében, amelyek nyilvánvalóan nem tudnak párosodni, képzeletünkben szintén a kereszteződési követelményt alkalmazzuk. Vajon *valószínűsíthetjük*, hogy ha ez a két állat itt nem kövület lenne, hanem eleven, termékeny és ellenkező nemű, akkor képesek lennének a kereszteződésre?

A kereszteződési követelmény a fajokat különleges helyzettel ruházza föl a taxonómiai szintek hierarchiájában. A faj szintje fölötti nem (genus) mindössze az egymásra meglehetősen hasonlító fajok csoportja. Nincs olyan objektív követelmény, amely eldöntené, mennyire hasonlónak kell lenniük, és ugyanez mondható el az összes többi magasabb szinttel: családdal, renddel, osztállyal, törzzsel és a közéjük ékelődő különféle „al-" és „szuper-" elnevezéssel kapcsolatban. A faj szintje alatt a „fajta" vagy az „alfaj" elnevezést többé-kevésbé szinonimaként használják, és itt sincs olyan objektív szempont, amely lehetővé tenné, hogy eldöntsük, vajon két embert ugyanabba a fajtába sorolhatunk-e, vagy egyáltalán hány fajta van. És persze itt az abból fakadó helyzet, amellyel nem találkozunk a faj fölötti szinten, hogy a fajták kereszteződnek, így rengeteg a kevert fajtájú ember.

Feltehetően a fajok, miközben úton vannak afelé, hogy annyira szétváljanak, hogy már nem kereszteződhetnek, általában átesnek a külön fajtává válás átmeneti állapotán. Az egyes fajták kialakulóban lévő fajoknak tekinthetők, eltekintve attól, hogy nincs olyan kötelező elvárás, hogy az alakulás eljusson a végéig – a fajjá váláshoz.



Egy Mars-lakó tán nem három az egyhez arányban csoportosítaná őket? BALRÓL JOBBRA: Condoleezza Rice, Colin Powell, George W. Bush elnök, Donald Rumsfeld

A kereszteződési szempont elég jól beválik, ráadásul egyértelmű ítéletet mond az emberek és feltételezett fajtáik fölött. Valamennyi emberfajta kereszteződik egymással. Valamennyien egyazon faj tagjai vagyunk, és nincs olyan valamire való biológus, aki mást mondana. Ám hadd hívjam föl a figyelmet egy érdekes, ám talán kissé zavaró tényre. Miközben a köztes fajták folytonos színképét eredményezve

szívesen keveredünk egymással, különös módon vonakodunk feladni megosztó, fajtaszempontú nyelvhasználatunkat. Ha egyszer az összes közbenső állapot folytonosan megnyilatkozik, folytonosan szemünkbe ötlik, bárhová nézzünk is, nem azt várnánk, hogy a késztetés az emberek két szélsőség egyikébe sorolására lassan elhalványodjék, és a kísérlet abszurditásába fulladjon? Sajnos nem ez történik, és talán maga a puszta tény is árulkodó.

Azok az emberek, akiket minden amerikai „feketének" tart, őseiknek talán kevesebb mint egynyolcadát származtathatnák Afrikából, és gyakran olyan világos a bőrük, amely jócskán belefér abba a normál tartományba, amit az emberek egyetemlegesen „fehérként" könyvelnek el. Ezen a fényképen látható négy amerikai politikus közül kettőt valamennyi újság feketének nevez, a másik kettőt fehérnek. Vajon egy nem a mi közmegegyezéseinken iskolázott, de a színárnyalatokat megkülönböztetni képes Mars-lakó nem három az egyhez arányban csoportosítaná őket? Bizonyára igen. Ám kultúránkban Mr. Powellt csaknem mindenki kapásból „feketének" „látná", még ezen a bizonyos fényképen is, amely történetesen talán még fehérebb bőrűnek mutatja, mint akár Busht, akár Rumsfeldet.



Egy igazi fekete ember társaságában
Colin Powell Daniel Arap Moi-jal

Érdekes próba, ha veszünk egy színes fényképet, mondjuk egy ehhez hasonlót, amelyen Colin Powell áll a „fehér" emberek néhány jellegzetes képviselője mellett (egymás mellett kell állniuk, hogy a fényviszonyok azonosak legyenek). Minden arcból, mondjuk a homlokból vágjunk ki egy kis téglalapot, és tegyük őket egymás mellé. Azt találjuk, hogy alig van különbség Powell és azok között a „fehérek" között, akikkel a képen áll. A konkrét esettől függően lehet kissé világosabb vagy sötétebb. Ám most távolítsuk a képet, és nézzük meg ismét az eredetit. Powell „feketének" látszik. Mi a nyitja a dolognak?

De hogy még közelebb lépjünk a tárgyhoz, végezzük el ugyanezt a „homlokfolt"-gyakorlatot Powell-lel és egy mellette álló igazi fekete emberrel, mondjuk Daniel Arap Moi-jal, a jelenlegi kenyai elnökkel. Ezúttal a homlokfoltok gyökeresen eltérőnek tűnnek. De aztán, amikor „távolítunk", és a teljes arcokat nézzük, már megint „feketének" „látjuk" Mr. Powellt. Az újságcikk, amely a Moi-t 2001 májusában meglátogató Powell fényképét kísérte, azt sugalmazta, hogy ugyanez a közmegegyezés működik Afrikában is:

> Az első afroamerikai külügyminiszterként Powell csaknem messiási fogadtatásban részesült Afrikában. És talán fekete mivolta miatt támadt hangos visszhangja Powell éles bírálatának...

Vajon az emberek miért nyelik le ily készségesen a nyilvánvaló ellentmondást – melynek számos hasonló példája akad – a szóbeli állítás: „fekete ember" és a kép között, amire vonatkozik? Mi történik itt? Különböző dolgok. Először is, külö-

nösen mohón csapunk le a fajtaosztályozásra, még akkor is, ha olyan egyénekről beszélnünk, akiknek kevert származása az egészet értelmetlenné teszi, és még olyankor is (mint itt), amikor nem tartozik a tárgyhoz.

Másodsorban vonakodunk attól, hogy kevert fajtájúnak nevezzük az embereket. Ehelyett hozzácsapjuk az egyik vagy a másik fajtához. Bizonyos amerikai állampolgárok tisztán afrikai eredetűek, mások tisztán európai eredetűek (eltekintve attól a ténytől, hogy hosszabb távon valamennyien afrikai eredetűek vagyunk). Valamilyen célra talán célszerű őket feketének, illetve fehérnek nevezni, és nem is emelek megalapozott kifogást e nevek ellen. Ám sok embernek vannak – talán többnek, mint legtöbben gondolnánk – fekete és fehér ősei egyaránt. Ha a színek terminológiájához ragaszkodunk, akkor sokunk feltehetően valahol köztes helyzetben található. A társadalom mégis kitart amellett, hogy így vagy úgy nevezzen bennünket. Ez a „szakaszos elme zsarnokságára" példa, amely *A szalamandra meséjé*nek volt a tárgya. Az amerikaiakat rendszeresen felkérik arra, hogy olyan nyomtatványokat töltsenek ki, amelyeken az alábbi öt rubrika egyikét kell bejelölniük: kaukázusi (akármit jelentsen is ez – az viszont biztos, hogy nem a Kaukázus hegységből valóra gondolnak), afroamerikai, hispán (akármit jelentsen is ez – az viszont biztos, hogy bár a szó mintha erre célozna, nem spanyolt értenek rajta), bennszülött amerikai vagy egyéb. Fele-fele címkéjű rubrika nincs. A rubrikák bejelölésének puszta elgondolása is összeegyeztethetetlen azzal az igazsággal, hogy sok, ha nem a legtöbb ember a felajánlott és egyéb kategóriák bonyolult elegye. Én arra hajlok, hogy indulatosan megtagadjam a rubrikák kipipálását, vagy hogy beszúrjam saját, „ember" feliratú rubrikámat. Különösen akkor, ha a rubrika az „etnikum" mézesmázos eufemizmusával él.

Harmadrészt, különösen az „afroamerikaiak" esetében jelentkezik nyelvhasználatunkban valami, ami kulturálisan a genetikai dominanciának felel meg. Amikor Mendelráncos borsót keresztezett sima borsóval, az utódok első nemzedéke mind sima volt. A sima a „domináns", a ráncos a „recesszív". Az utódok első nemzedékében egy sima allél és egy ráncos volt, maguk a borsók mégis megkülönböztethetetlenek voltak azoktól, amelyekben nem voltak ráncos gének. Amikor egy angol férfi feleségül vesz egy afrikai nőt, az utódok színe és egyéb tulajdonságaik zöme is köztes. Ez nem hasonlít a borsók esetére. Ám valamennyien tudjuk, a társadalom hogyan fogja szólítani az ilyen gyermeket: minden esetben „feketének". A feketeség nem valódi genetikai dominancia, mint a borsók simasága. Viszont a feketeség társadalmi felfogása dominanciaként viselkedik. Ez kulturális vagy memetikai dominancia. Lionel Tigel, az éles elméjű antropológus mindezt a fehér kultúra rasszista „szennyezettség-metaforájának" tulajdonította. Az sem kétséges, hogy a rabszolgák utódaiban is erős és érthető szándék mutatkozik az azonosulásra afrikai gyökereikkel. Már utaltam erre *Éva meséjé*ben, azzal a televíziós sorozattal kapcsolatban, amelyben Britanniában élő jamaicai bevándorlókat egyesítettek újra érzelmileg állítólagos nyugat-afrikai „családjukkal".

Negyedszer, faji besorolásainkban erős a köztes megfigyelői megegyezés. Egy Colin Powellhez hasonló, kevert fajtájú és köztes testi jegyeket mutató ember esetében nem fordulna elő, hogy a megfigyelők némelyike fehérnek, mások feketének minősítsék. Egy elenyésző kisebbség kevertnek nyilvánítaná. Az összes többi kapásból feketének tartaná Mr. Powellt – és ugyanez vonatkozik mindenkire, aki a *leg-*

kisebb nyomát is mutatja az afrikai ősöknek, még akkor is, ha európai őseinek aránya a túlnyomó. Senki sem tartaná Mr. Powellt fehérnek, hacsak nem próbálna politikai tőkét kovácsolni abból, hogy a szó összeütközik a közönség elvárásaival.

Létezik egy „megfigyelők közötti megfeleltetésnek" nevezett hasznos technika. Olyan eszköz ez, amit gyakran alkalmaznak a tudományban annak megállapítására, valóban létezik-e megbízható bázis az ítéletalkotáshoz, még akkor is, ha senki sem tudja leszögezni, mi is legyen az az alap. Ennek értelme a jelen esetben a következő. Nem tudhatjuk, az emberek miként döntik el, hogy valaki „fekete"-e vagy „fehér" (és remélem, kimutattam, hogy ez nem azért van, mert valaki fekete vagy fehér!), márpedig ott kell ólálkodnia *valamiféle* megbízható kritériumnak, mivel bármely két tetszőlegesen kiválasztott ítész ugyanarra a döntésre jut.

Az a tény, hogy a megfigyelők közötti megfelelés még a köztes fajták széles spektrumában is magas marad, meggyőzően bizonyítja, hogy valami mélyen beágyazódott az emberi pszichológiába. Ha ez kultúrákon keresztül is érvényben marad, akkor emlékeztet arra, amit az antropológusok megállapítottak a színárnyalat-érzékelésről. A fizikusok azt mondják, hogy a szivárvány a vöröstől a narancson, a sárgán, zöldön és kéken át az ibolyáig nem más, mint hullámhosszak egyszerű folytonossága. Nem a fizika, hanem a biológia és/vagy a pszichológia jelöl ki a fizikai spektrum mentén külön kezelendő és elnevezendő, különleges mérföldkő hullámhosszakat. A kéknek van neve, miként a zöldnek is. A kék-zöldnek nincs. Antropológiai kísérletek érdekes felfedezése az (egyébként némely befolyásos antropológiai iskolával szemben), hogy a különféle kultúrák között jelentős egyetértés van az ilyen elnevezésekben. Úgy tűnik, hasonló egyetértés áll fönn a fajták megítélésében is. Talán még erősebb és egyértelműbb is, mint a szivárvánnyal kapcsolatban.

Mint mondtam, a zoológusok meghatározása szerint a faj olyan csoport, amelynek tagjai párosodnak egymással természetes körülmények közt – a szabadban. Az nem számít, ha csak az állatkertben párosodnak, vagy ha mesterséges megtermékenyítést kell alkalmaznunk, vagy ha kalitkába zárt éneklő hímekkel bolondítunk el nőstény sáskákat, még akkor sem, ha a kapott utódok termékenyek. Elvitatkozhatunk azon, hogy ez-e az egyedüli értelmes meghatározása a fajnak, mindenesetre a legtöbb biológus ezt alkalmazza.

Ám ha ezt a meghatározást az emberre kívánnánk alkalmazni, sajátos nehézség lép elő: miként tegyünk különbséget a kereszteződés természetes és mesterséges formája között? Nem egykönnyen megválaszolható kérdés. Ma valamennyi élő embert szigorúan ugyanabba a fajba sorolunk, és valóban örömmel kereszteződnek.

Ám a követelmény, ne feledjük, az, hogy vajon természetes körülmények között döntenek-e így. Mit jelent a természetes körülmény az emberek esetében? Léteznek még ilyenek egyáltalán? Ha az ősidőkben, vagy olykor ma is, két szomszédos törzsnek különböző vallása, különböző nyelve, különböző étkezési szokásai, különböző kulturális hagyományai voltak, és állandóan harcban álltak egymással; ha mindkét törzs tagjait úgy nevelték föl, hogy úgy higgyék, a másik törzsbeliek ember alatti „állatok" (miként ma is megtörténik); ha vallásuk azt tanította, hogy a másik törzsből való esetleges szexuális partnerek tabunak, „sikszasznak" vagy tisztátalannak számítnak, akkor nem igen kerülhetett sor kereszteződésre közöttük. Anató-

miailag és genetikailag azonban akár teljesen megegyezhettek egymással. Csupán egy vallási vagy egyéb szokás megváltozásán múlik a kereszteződés előtt álló akadályok lebontása. Akkor hát hogyan próbálnánk meg a kereszteződési kritériumot az emberiségre alkalmazni? Ha a *Chorthippus brunneust* és a *C. biguttulust* azért tartjuk két külön sáskafajnak, mert nincs kedvük egymással kereszteződni, habár testileg megtehetnék, akkor legalábbis egykor, a törzsi elkülönülés korában talán az emberek is ugyanilyen módon szétválaszthatók voltak? Ne feledjük, a *Chorthippus brunneus* és a *C. biguttulus* énekük kivételével minden megfigyelhető szempontból azonosak, és amikor (könnyedén) ráveszik őket a hibridizációra, utódaik tökéletesen termékenyek.

Megfigyelőként bárhogy vélekedjünk is a külsődleges megjelenésről, az emberi faj ma a genetikusok számára különösen egyöntetű. Az emberi népesség által birtokolt genetikai változatokat figyelembe véve megmérhetjük azt a hányadot, amely a fajtáknak vagy rasszoknak nevezett regionális csoportokhoz társul. Az derül ki, hogy ez csak kis része az egésznek: 6 és 15 százalék közötti, a mérés módjától függően – jóval kevesebb, mint sok más olyan fajnál, ahol fajtákat különböztetünk meg. A genetikusok tehát arra a következtetésre jutottak, hogy a fajta nem túl lényeges szempont egy embernél. Másként is mondhatjuk ugyanezt. Ha egyetlen helyi fajta kivételével valamennyi embert eltörölnének a föld színéről, az emberi faj genetikai változatainak döntő többsége még akkor is megmaradna. Ez első ránézésre nem egyértelmű, és egyeseknek eléggé meglepő is lehet. Ha az emberfajtákkal kapcsolatos állítások oly értelmesek volnának, ahogy például a legtöbb viktoriánus vélte, akkor a különféle fajtákból jókora merítést meg kellene őrizni, ha meg akarnánk tartani az emberi faj változatainak többségét. A helyzet azonban nem ez.

Ez bizony meglepte volna a viktoriánus biológusokat, akik néhány kivételtől eltekintve az emberiséget fajisággal színezett szemüvegen keresztül nézték. Felfogásuk rendületlenül tovább élt a huszadik században. Hitler abban volt különleges, hogy a rasszista eszméket kormányzati politikává alakítva ragadta meg a hatalmat. Sokan mások gondolkodtak ugyanígy – és nem csupán Németországban –, csak éppen hatalmuk nem volt. Már korábban idéztem H. G. Wells látomását az Új Köztársaságról (*Anticipation*, 1902), és most ugyanígy teszek, mert olyannyira üdvösen idézi föl, hogy egy korában haladónak és balrahajlónak tekintett, vezető brit értelmiségi mindössze egy évszázada milyen rémítő dolgokat volt képes mondani, és még csak fel sem tűnt senkinek.

> És hogy az Új Köztársaság miként kezeli az alsóbbrendű fajtákat? Hogyan bánik a feketékkel? … a sárgákkal? … a zsidókkal? … azon fekete és barna és piszkosfehér és sárga emberek hordáival, akik nem férnek meg a hatékonyság új igényeivel? Nos, a világ az világ, és nem jótékonysági intézmény, és fogadom, hogy el kell tűnniük … És az Új Köztársaság e férfiúinak morális rendszere, az a morális rendszer, amely uralja majd a világállamot, olyan formát ölt elsődlegesen, hogy annak létrehozásának kedvezzen, ami kifinomult és hatékony és szép az emberiségben – szép és erős testeknek, világos és erőteljes elméknek … Márpedig az a módszer, amelyet a természet mindeddig követett a világ formálásában, amellyel megakadályozta, hogy a gyengeség gyengeséget nemzzen … a halál … Az Új Köztársaság férfiúinak … eszményei szerint az ölés megéri a fáradságot.

Alighanem megnyugvással kell fogadnunk azt a változást, amely felfogásunkban az időközben eltelt évszázad folyamán végbement. Negatív értelemben talán még Hitler is elkönyvelhet magának ezért némi érdemet, mivel senki sem szeretné, ha azon kapnák, hogy valami olyasmit állított, amit Hitler is mondott. De vajon mit idéznek majd tőlünk megborzadva, kérdezem, huszonkettedik századi utódaink? Lehet, valami olyasmit, ami a más fajokkal való bánásmódunkra vonatkozik?

De ez csak kitérő volt. Igazából az emberi fajnak a látszat ellenére is szokatlanul nagy arányú genetikai egyöntetűségével foglalkozunk. Ha vért veszünk, és összehasonlítjuk a fehérjemolekulákat, vagy sorba állítjuk magukat a géneket, azt találjuk, hogy kisebb különbség van a világ bármely két különböző részén élő két ember között, mint két afrikai csimpánz között. Ezt az emberi egyöntetűséget úgy magyarázhatjuk, hogy feltételezzük, őseink – de a csimpánzoké nem – nem sokkal ezelőtt egy genetikai útszűkületen haladtak át. A népesség kis létszámúra csökkent, közel került a kihaláshoz, de aztán talpra állt.* Mint a mítoszban Noé gyermekei, mi is ettől a kis népességtől származunk, ezért vagyunk genetikailag annyira egységesek. Még nagyobb genetikai egyöntetűségről szóló hasonló bizonyítékok arra utalnak, hogy a gepárdok még közelebbi időszakban, talán az utolsó jégkorszak vége táján a miénknél is keskenyebb útszűkületen haladtak át.

Némelyek talán nem találják kielégítőnek a biokémiai genetika bizonyítékát, mivel annyira nem fér meg mindennapi tapasztalatainkkal. A gepárdoktól eltérően mi nem „látszunk" azonosnak.** A norvégok, japánok és zuluk bizony gyökeresen másnak látszanak. Még a világ összes jóakaratával is nehéz ráérzésre elhinni a tényleges igazságot: vagyis, hogy „valóban" jobban hasonlítanak, mint három, a szemünkben sokkal inkább hasonlító csimpánz.

Természetesen politikailag kényes ügy ez, amit mulatságosan tett gúny tárgyává egy nyugat-afrikai kutatóorvos egy körülbelül húsz tudósból álló összejövetelen. A konferencia kezdetén az elnök felkért bennünket, hogy mutatkozzunk be. Az afrikai – aki az egyetlen fekete volt köztünk, méghozzá sok „afroamerikaival" ellentétben valóban fekete – történetesen piros nyakkendőt viselt. Bemutatkozását az alábbi szavakkal, nevetve fejezte be: „Könnyen megjegyeznek, egyedül én viselek piros nyakkendőt." Zseniálisan gúnyolta ki, ahogy az emberek mindent megtesznek, csakhogy azt a látszatot keltsék, mintha nem vennének tudomást a fajtabeli különbségekről. Azt hiszem, volt egy hasonló szövegű *Monty Python*-jelenet is. Mégsem írhatjuk le a genetikai bizonyítékot, miszerint minden ellenkező látszat dacára is szokatlanul egyöntetű faj vagyunk. Miként lehet hát feloldani a látszat és a mért valóság közötti nyilvánvaló ellentétet?

Eredendően igaz, hogy ha felmérjük az emberi fajban található összes változatot, és aztán felosztjuk egy fajták közti összetevőre és egy fajtán belüli összetevőre, akkor a fajták közti összetevő csak elenyésző részét képezi az egésznek. Az emberekben található változatok többsége a fajtákon belül és közöttük egyaránt megtalálhatók. Csupán egy kis többletváltozat különbözteti meg egymástól a fajtákat. Ez így mind helyes. Ami viszont nem helyes, az az a következtetés, hogy eszerint a fajta üres fogalom. Pontosan ezt állította a neves cambridge-i genetikus, A. W. Edwards nemrégiben megjelent, „Az ember genetikai sokfélesége: Lewontin tévedése" című dolgozatában. R. C. Lewontin hasonlóan neves cambridge-i (Massachusetts) genetikus, aki politikai meggyőződésének erősségéről és azon esendőségé-

* Mintegy 70 000 évvel ezelőttről van bizonyítékunk egy nagyon rázós útszűkületre, amikor a népesség talán 15 000 főre csökkent. Ezt egy hatéves „vulkanikus tél" okozta, amit egy évezredes jégkorszak követett.

** Csak mellékesen, a leopárdok sem. Ám a fekete „párduc", amit hajdan külön fajnak gondoltak, a foltos leopárdtól csupán egyetlen genetikai locusban tér el.

ről ismeretes, hogy azokat minden adandó alkalommal belekeveri a tudományba. Lewontinnak a fajtákról szóló nézete tudományos körökben csaknem egyetemes érvényűvé vált. 1972-es híres dolgozatában így írt:

> Egyértelmű, hogy az emberfajták és alcsoportok közötti viszonylag jelentős különbség érzékelése, az e csoportokon belüli változatokkal összevetve valóban nem tárgyilagos érzékelés, és az is, hogy a találomra választott genetikai eltérések alapján az emberfajták és népcsoportok figyelemre méltóan hasonlítanak egymáshoz, és az emberi változatok túlnyomó része az egyének közötti eltérésekből fakad.

Pontosan ezt az álláspontot fogadtam el föntebb, ami nem is meglepő, hiszen mondandómat nagyrészt Lewontinra alapoztam. De nézzük csak, hogyan folytatja:

> Az emberek fajták szerinti besorolása társadalmilag értéktelen és kifejezetten romboló hatású a társadalmi és személyes viszonyokban. Mivel ma már úgy látjuk, hogy az efféle fajták szerinti besorolás valójában sem genetikai, sem taxonómiai jelentőséggel nem bír, fenntartásának jogosultsága mellett nem lehet érveket felsorakoztatni.

Készségesen egyetértünk azzal, hogy az emberek fajták szerinti besorolásának nincs társadalmi értéke, és kifejezetten rombolja a társadalmi és emberi viszonyokat. Ez az egyik oka annak, amiért vonakodom kipipálni az űrlapok rubrikáit, és amiért ellenzem a munkavállaláskor a pozitív megkülönböztetést. Ez azonban nem jelenti azt, hogy „az efféle fajták szerinti besorolást valójában sem genetikai, sem taxonómiai jelentőséggel nem bír". Edwards így érvel, mégpedig a következő okoknál fogva. Bármilyen kicsi is legyen az összes változat fajták szerinti megoszlása, ha a meglévő fajtajegyek erősen megfelelnek egyéb fajtajegyeknek, akkor lényegüknél fogva informatív értékűek, ezért taxonómiai jelentőségük van.

Az informatív azt jelenti, hogy meglehetősen pontos. Egy informatív állításból valami olyat tudunk meg, amit korábban nem tudtunk. Egy állítás információtartalmát a korábbi bizonytalanság csökkenésében mérjük. A korábbi bizonytalanság csökkenése viszont a valószínűségekben bekövetkezett változással mérhető. Márpedig ez lehetőséget nyújt arra, hogy egy üzenet információtartalmát matematikai pontossággal meghatározzuk, de ezzel most nem szükséges vesződnünk.* Ha azt mondom, hogy Evelyn hímnemű, máris egy csomó dolgot tudunk róla. Nemi szerveit illető korábbi bizonytalanságunk csökken (noha nem tűnik el teljesen). Korábban nem ismert tényekről értesülünk kromoszómáival, hormonjaival és biokémiájának egyéb vonatkozásaival kapcsolatban, és így mérhetően csökken korábbi bizonytalanságunk hangjának mélységét, arcszőrzetének eloszlását, testének zsírjait és izomzatát illetően. Ellentétben a viktoriánus előítéletekkel, nemével kapcsolatos hírünk ellenére sem változik viszont Evelyn általános intelligenciájával vagy tanulási képességeivel kapcsolatos korábbi bizonytalanságunk. Súlyemelési képességei, vagy a legtöbb sportban való kiválóság felőli korábbi bizonytalanságunk is csökken számszerűen, de csupán számszerűen. Sok nő le tud győzni sok férfit bármely sportágban, bár a legjobb férfiak rendesen le tudják győzni a legjobb nőket. Mondjuk Evelyn futási sebességének vagy teniszszervájának erősségével kapcsolatos tippelési képességünk kissé erősödik azzal, hogy megtudjuk nemét, ám a bizonyosság fokát nem érjük el.

Most pedig a fajták kérdésére térve, mi van akkor, ha megtudjuk, hogy Suzy kínai? Mennyivel csökken korábbi bizonytalanságunk? Eléggé biztosra vehetjük,

* Történetesen maga Lewontin volt az egyik első biológus, aki alkalmazta az információelméletet, mégpedig a fajtákról szóló dolgozatában, noha más célra. Könnyen kezelhető statisztikaként használta a változatosság mérésére.

hogy a haja egyenes szálú és fekete (vagy az volt), hogy szemén mongolredő található, és még egy-két egyéb dolgot. Ha azt halljuk, hogy Colin „fekete", ez nem jelenti azt – mint láttuk –, hogy fekete. Mégis van valamennyi közlésértéke. A megfigyelők közötti megegyezés erőssége azt sugallja, hogy a legtöbb ember által felismert tulajdonságok olyan összeállásáról van szó nála, amelynek révén a „Colin fekete" kijelentés valóban csökkenti Colint illető korábbi bizonytalanságunkat. Ugyanez bizonyos fokig visszafelé is működik. Ha azt mondják, hogy Carl olimpiai bajnok rövidtávfutó, „fajtáját" illető korábbi bizonytalanságunk a statisztikából következőleg csökken. Azaz meglehetősen biztosra vehetjük, hogy Carl fekete.*

Afölötti elmélkedéssel fogtunk e kérdés taglalásába, hogy a fajták kategóriája közlésben gazdag módját jelentette-e korábban vagy bármikor az emberek osztályozásának. Vajon hogyan alkalmazhatnánk a megfigyelők közötti megegyezés kritériumát e kérdés eldöntésében? Nos, tegyük fel, hogy fogunk húsz-húsz, az alábbi országokból találomra kiválasztott bennszülöttről készült szabvány fényképportrét: Japán, Uganda, Izland, Sri Lanka, Pápua Új-Guinea és Egyiptom. Ha mind a 120 embernek odaadnánk mind a 120 fényképet, állítom, mindegyiknek százszázalékosan sikerülne hat különböző csoportra különíteni őket. Nem végeztem el a kísérletet, de bízom benne, egyetértünk az eredményt illetően. Tudománytalannak tűnhet részemről, hogy nem vesződöm a kísérlettel, de a mondandóm lényege éppen abbéli bizalmam, hogy emberek lévén, kísérlet nélkül is egyetértünk.

Ha elvégeznénk a kísérletet, nem hiszem, hogy Lewontin más eredményt várna attól, amit megjósoltam. Mégis, mintha ellenkező jóslat következne állításából, miszerint a fajtaszempontú osztályozásnak gyakorlatilag nincs taxonómiai vagy genetikai jelentősége. Ha nincs szó taxonómiai vagy genetikai jelentőségről, akkor a másik útja annak, hogy magas szintű megfigyelők közti megegyezésre jussunk, a kulturális előítéletek közti világszerte érvényes hasonlóság lenne, márpedig nem hiszem, hogy Lewontin erre akarna kilyukadni. Röviden, szerintem Edwardsnak van igaza, és Lewontin nem első ízben téved. Lewontin, lévén briliáns matematikai genetikus, természetesen jól bánik a számokkal. Az emberi fajban megtalálható összes változat arányából valóban alacsony az a százalék, amely a fajtabeli változatokra esik. Ám a fajták közötti változatok *megfeleltetése* miatt bármennyire kevés is az összes változat, azok mégis közlésértékűek, mégpedig oly módon, hogy azt az ítéletek megfigyelők közötti egybehangzásának mérésével bizonyosan igazolni lehetne.

Ezen a ponton újra hangot kell adnom erős ellenérzésemnek, amikor arra kérnek, hogy „fajtámat" vagy „etnikumomat" firtató rubrikákat töltsek ki, erős egyetértésemnek Lewontin azon állításával, hogy a fajták szerinti osztályozás ténylegesen rombolhatja a társadalmi és emberi kapcsolatokat – különösen akkor, ha a fajták szerinti besorolást arra használják, hogy akár pozitív, akár negatív megkülönböztetés révén, eltérő módon bánjanak az emberekkel. Ha valakire fajtáját illető címkét ragasztunk, ez abban az értelemben közlésértékű, hogy nem egy dolgot megtudunk felőle. Csökkentheti bizonytalanságunkat hajszínét, bőrszínét, hajszálainak egyenességét, szemformáját, orrformáját és testmagasságát illetően. Ám nincs okunk azt feltételezni, hogy bármit is elárulna arról, mennyire megfelelő egy állásra. És még abban a valószínűtlen esetben is, ha egy bizonyos állásra való megfelelőséget illetően valóban csökkentené statisztikai bizonytalanságunkat, *még akkor is* gonosz dolog

* Sir Roger Bannister izonyú forró talajra lépett, mégpedig nem egyéb oknál fogva, mint amit nem tudnék másra fogni, mint az emberek fajtákkal kapcsolatos lobbanékonyságára, amikor néhány éve valami hasonlót mondott.

lenne a megkülönböztetés alapjaként fajtacímkét használni egy állás betöltésekor. Válogassunk a képességek alapján, és ha így járva el, csupa feketéből álló sprintercsapatot kapunk, ám legyen. Ezen eredményre jutva nem fajtaszempontú megkülönböztetést alkalmaztunk.

Egy nagy karmester, amikor zenészeket válogatott a zenekarába, mindig függöny mögött játszatta őket. Megmondták nekik, hogy ne beszéljenek, sőt még cipőjüket is levetették, nehogy a magas sarkok kopogása elárulja az előadó nemét. Még ha statisztikailag az is a helyzet, hogy a nők mondjuk jobb hárfások, mint a férfiak, ennek nem szabad azt jelentenie, hogy a hárfás kiválasztásakor alkalmazzunk megkülönböztetést a férfiak rovására. Hajlok arra, hogy az egyének megkülönböztetését pusztán hovatartozási csoportjuk alapján minden esetben rossznak tartsam. Manapság csaknem egyetemes egyetértés uralkodik azt illetően, hogy a délafrikai apartheidtörvények rosszak voltak. Ám az amerikai egyetemeken a „kisebbségek" javára alkalmazott pozitív megkülönböztetést szerintem nagyjából az apartheiddel azonos alapon lehetne támadni. Mindkettő inkább egy csoport tagjának tekinti az embereket ahelyett, hogy saját jogú egyénként bánnék velük. A pozitív megkülönböztetést olykor az évszázados igazságtalanság orvoslásával igazolják. De hogyan lenne jogos ma visszafizetni valamely egyénnek azt a rosszat, amelyet annak a többségi csoportnak a rég elhalt tagjai követtek el, amelyhez tartozik?

Érdekes egyes/többes számú zűrzavar bukkan föl az olyan szóhasználatban, amely árulkodóan a bigottak tünete: „a zsidó..." a „zsidók..." helyett.

> A te boglyas szudánid kitűnő harcos, csak a balt nem tudja megkülönböztetni a jobbtól. Bezzeg a patánod...

Az emberek egyének, egyénileg különbözők, és sokkal inkább különböznek csoportjuk más tagjaitól, mint csoportjaik egymástól. Ebben a tekintetben Lewontinnak kétségtelenül igaza volt.

A megfigyelők megegyezése arra utal, hogy a fajtaszempontú osztályozás nem teljesen semmitmondó, viszont miről szól ez az információ? Nem többről, mint a megfigyelők által a megegyezéskor alkalmazott tulajdonságokról: olyasmikről, mint a szemforma és a haj göndörsége – semmi másról, hacsak nem szolgáltatnak további okokat, hogy az ellenkezőt higgyük. Valami oknál fogva mintha csupa felszínes, külsődleges, magától értetődő tulajdonságot társítanánk a fajtához – talán főleg arcvonásokat. Ám miért éppen e felszínesen nyilvánvaló tulajdonságok alapján térnek el az emberfajták annyira? Vagy csupán abból fakad e körülmény, hogy megfigyelőként ezek észrevételére vagyunk hajlamosak? Miért tűnnek a szemünkben más fajok viszonylag egyöntetűnek, és az emberek annyira különbözőnek, hogy ha az állatvilágban másutt találkoznánk velük, arra gyanakodnánk, hogy számos különböző fajjal van dolgunk?

A politikailag legelfogadhatóbb magyarázat szerint minden faj tagjai fokozottan érzékenyek a saját fajtájuk közti különbségekre. E nézet szerint pusztán arról van szó, hogy sokkal könnyebben vesszük észre az emberi különbségeket, mint a más fajokon belüli különbségeket. A csimpánzok, amiket mi csaknem azonos kinézetűnek találunk, a csimpánzok szemében éppoly különbözőek, mint amennyire a mi szemünkben mondjuk egy kikuju eltér egy hollandtól. A kiváló amerikai pszichológus, H. L. Teuber, az agy arcfelismerő működésnek szakértője abban a remény-

ben, hogy megerősítést nyer ennek az elméletnek fajtán belüli szintjén, arra kérte egyik kínai doktorandusz hallgatóját, járja körül a következő kérdést: „Miért gondolják azt a nyugatiak, hogy a kínaiak jobban hasonlítanak egymáshoz, mint a nyugatiak?" Három év elmélyült kutatás után a kínai hallgató a következőképp összegezte vizsgálatait: „A kínaiak valóban jobban hasonlítanak egymáshoz, mint a nyugatiak." Teuber alaposan hunyorogva és kacsingatva mondta el ezt a történetet, ami nála csalhatatlan jele a tréfának, úgyhogy nem tudom, mi igaz az esetből. Nem okoz viszont gondot, hogy elhiggyem, és persze azt sem gondolom, hogy bárkit is felidegesítene.

Viszonylag nem régi kiáramlásunk Afrikából a világ minden részére élőhelyek, éghajlatok és életmódok rendkívül változatos sokaságára juttatott el bennünket. Elképzelhető, hogy az eltérő feltételek erős szelekciós nyomást gyakoroltak, méghozzá elsősorban az olyan külsőleg is látható testrészekre, mint a bőr, amelynek tartania kellett magát a napfénnyel és a hideggel szemben. Nehéz elgondolni bármely másik fajt, amely megél a trópusoktól a sarkvidékekig, a tengerszinttől a magas Andokig, a napégette sivatagoktól a csöpögő dzsungelekig, és valamennyi köztes állapotban. Az ennyire eltérő feltételek elkerülhetetlenül különböző természetes szelekciós nyomást fejtettek ki, úgyhogy igazából éppen az lenne meglepő, ha ennek következtében a helyi népességek nem különböznének egymástól. Afrika, Dél-Amerika és Délkelet-Ázsia mélyének erdőlakó vadászai mind egymástól függetlenül váltak alacsonnyá, és csaknem biztosan azért, mert a magasság akadály a sűrű növényzetben. A nagy magasságok lakói, akiknek feltehetőleg minden napfényre, amit csak össze tudnak szedni, szükségük van a D-vitamin előállításához, hajlamosabbak a világosabb bőrre, mint az ellenkező problémával – a trópusi nap rákkeltő sugaraival – szembesülők. Kézenfekvő, hogy az ilyen helyi szelekció különösen az olyan felszíni tulajdonságokat érintette, mint a bőrszín, miközben a genom nagy részét érintetlenül és egyformának hagyta.

Ez elméletben teljes magyarázata lehet a mély hasonlóságot elfedő felszínes és látható változatosságunknak. Ám számomra mégsem tűnik elegendőnek. Úgy vélem, a magyarázatot legalábbis tovább lehetne segíteni egy újabb felvetéssel, amit próbaképpen most megkockáztatok. A kereszteződés útjában álló kulturális akadályokról szóló korábbi értekezésemből indulok ki. Ha a gének összességét nézzük, valóban igen egységes faj vagyunk. Ám mi van akkor, ha különleges oka van annak, hogy éppen azokban a génekben van aránytalan számú eltérés, amelyek megkönnyítik az eltérések *észrevételét* és saját fajtánk megkülönböztetését másoktól. Ezek közé tartoznának az olyan látható külső „cédulákért" felelős gének is, mint a bőrszín. És itt ismét szeretném felvetni, hogy ezt a fokozott megkülönböztethetőséget a szexuális kiválasztás fejlesztette ki, különösen bennünk, emberekben, hiszen mi annyira kultúrához kötött faj vagyunk. Mivel párosodási döntéseinket olyannyira befolyásolják kulturális hagyományaink, és mivel kultúráink és olykor vallásaink is arra ösztönöznek bennünket, hogy különösen a párválasztáskor alkalmazzunk megkülönböztetést a kívülállókkal szemben, így azok a felületes különbségek erősödtek föl – a valódi genetikai különbségeinkhez képest aránytalanul –, amelyek hozzásegítették őseinket ahhoz, hogy a belsőket kedveljék a kívülállókkal szemben. Nem kisebb gondolkodó, mint Jared Diamond képviselt hasonló nézetet a *The Rise and Fall of the Third Chimpanzee* (A harmadik csimpánz felemelkedése és bukása)

című könyvében. És általánosabb értelemben maga Darwin is a szexuális kiválasztódást hívta segítségül a fajtabeli különbségek magyarázatához.

Két változatát szeretném mérlegelni ennek az elképzelésnek: egy erőset és egy gyöngét. Az igazság a kettő valamilyen elegye lehet. Az erősebb elmélet szerint a bőrszín és egyéb nyilvánvaló genetikai bélyegek kifejezetten a párválasztás megkülönböztető jegyeiként alakultak ki. A gyengébb elmélet, amelyet az erősebbe való bevezetésként is felfoghatunk, a nyelvhez és a valláshoz hasonló kulturális különbségeket állítja a földrajzi elkülönülés helyére a fajképződés kezdeti szakaszaiban. Ha egyszer a kulturális elkülönülés elérte ezt a kezdeti szétválást, ami azzal a következménnyel járt, hogy nem volt többé összekötő génáramlás, ami összetartsa őket, a csoportok ezt követően genetikailag éppúgy szétváltak, mintha földrajzilag különültek volna el.

Idézzük csak föl *A bölcsőszájú hal meséjé*ből, hogy egy ősi populáció csak akkor szakadhat szét két, genetikailag elkülönült populációra, ha a kezdőlökést megadja egy általában földrajziként elkönyvelt, véletlen szétválás. Az olyan akadály, mint egy hegygerinc, csökkenti a génáramlást két völgylakó populáció között. Így a két völgy génállománya szabadon sodródhat kétfelé. Az elkülönülést normális esetben a különböző szelekciós nyomások is elősegítik; az egyik völgy például nedvesebb lehet, mint a hegység túloldalán lévő. Ám a kezdeti véletlen elkülönülés, amit mindeddig földrajzinak feltételeztem, mindenképp szükséges.

Senki sem áll elő azzal, hogy bármi szándékosság lenne a földrajzi szétválásban. A „szükséges" semmi esetre sem ezt jelenti. A szükséges mindössze annyit jelent, hogy nem játszódna le valami kezdeti földrajzi (vagy ennek megfelelő) szétválás, a népesség különböző részeit a köztük lévő szexuális keveredés elkerülhetetlenül összetartaná. Fajképződésre nem kerülhet sor kezdeti akadály nélkül. Ha egyszer két vélelmezett faj, eredetileg fajta, elindul, genetikailag szólva, a szétválás útján, akkor még inkább eltávolodhatnak egymástól – még ha később a földrajzi akadály eltűnik is.

Itt ellentmondás van. Némelyek azt gondolják, hogy a kezdeti szétválásnak földrajzinak kell lennie, míg mások, főként a rovartanosok az úgynevezett szimpatrikus vagy átfedő fajképződésre helyezik a hangsúlyt. Számos növényevő rovar csak egyetlen növényfajt fogyaszt. Kedvenc növényükön találkoznak párjukkal, és oda rakják le petéiket is. A lárvák aztán azonnal „bevésik" azt a növényt, amelyet fogyasztva felnőnek, és felnőttként ugyanarra a növényfajra helyezik el petéiket.* Így, ha egy felnőtt nőivarú tévedésből rossz növényfajra rakná a petéit, lánya a rossz növényfajt vésné be, és amikor eljönne az ideje, petéit ugyanarra a rossz növényre rakná. Lárvái ekkor ugyanazt a rossz növényt vésnék be, a rossz növényen időznének felnőttként, és a rossz növényen időzőkkel párosodnának, és végül a rossz növényen helyeznék el a petéiket.

E rovarok esetében egyetlen generációban láthatjuk, hogy a szülői típussal fennálló génáram hirtelen elvágódik. Elméletileg szabaddá válik az út egy új faj keletkezése előtt anélkül, hogy földrajzi elszigetelődésre lenne szükség. Vagy – másként fogalmazva – e két táplálóknövény közti különbség a rovarok számára az, ami egy hegygerinc vagy egy folyó más állatoknak. A rovartanosok érvelése szerint ez a fajta szimpatrikus fajképződés a rovarok között gyakoribb, mint a „valódi" földrajzi fajképződés, és ez esetben – lévén a fajok többsége rovar – még az is elképzelhető, hogy a fajképződések többsége szimpatrikus.

* A bevésődés (imprinting), amelyről gyakran halljuk, hogy Konrad Lorenz fedezte föl, az a folyamat, amelynek során a fiatal állatok, például a kislibák, mintegy lelki fényképet készítenek egy olyan tárgyról, amit a korai életszakasz döntő időszakában látnak, és amit fiatalon követnek. Általában ez a szülő, de éppúgy lehet Konrad Lorenz csizmája is. Az életben később a „lelki fénykép" befolyásolja a párválasztást, ami többnyire saját fajtársat jelent, de megpróbálhatnak párosodni Lorenz csizmájával is. A kislibák története nem ilyen egyszerű, de hasonlósága a rovarok esetével egyértelmű.

Bárhogy is van, arra akarok kilyukadni, hogy az emberi kultúra különleges módját jelenti annak, hogy a génáram elakadjon, amely bizonyos fokig hasonló az imént vázolt rovarforgatókönyvhöz.

A rovarok esetében a növénypreferencia a szülőkről azáltal a kettős körülménynyel kerülnek tovább az utódokra, hogy a lárvák az élelemnövényt bevésik, majd a felnőttek ugyanazon az élelemnövényen párzanak és rakják le a petéiket. Ennek hatásaként a leszármazási vonalak olyan „hagyományt" alapítanak, amely hosszantian halad lefelé a generációkon át. Az emberi hagyományok hasonlók, csak bonyolultabbak. Ennek példái a nyelvek, a vallások, és a társadalmi szokások vagy konvenciók. A gyermekek általában a szüleik nyelvét és vallását teszik magukévá, bár – akárcsak a rovarok és táplálóknövényeik esetében – éppen elég „hiba" adódik ahhoz, hogy az életet érdekessé tegyék. Ismét csak azokhoz a rovarhoz hasonlóan, amelyek a kedvenc táplálóknövényük szomszédságában párosodnak, az emberek is hajlamosak a magukéval azonos nyelvet beszélőkkel és a magukéval azonos istenekhez fohászkodókkal párosodni. Az eltérő nyelvek és vallások így játszhatják el a táplálóknövény, vagy a hagyományos földrajzi szétválás hegygerincének a szerepét. Az eltérő nyelvek, vallások és társadalmi szokások gátak lehetnek a génáram útjában. Innét aztán, elméletünk gyenge változata szerint, a véletlenszerű genetikai eltérések a nyelvi vagy vallási gát ellenkező oldalain éppúgy fölhalmozódnak, mint egy hegygerinc két oldalán. Ezután – az elmélet erősebb változata szerint – az összegyűlt genetikai különbségek felerősödnek, a nyilvánvaló megjelenésbeli eltéréseket, mintegy kiegészítve az eredeti szétválást biztosító kulturális gátakat, az emberek újabb megkülönböztető címkeként kezdik felhasználni a párválasztásban.*

Természetesen nem arra célzok, hogy az embereket több fajba kellene sorolni. Nagyon is ellenkezőleg. Arra utalok, hogy az emberi kultúra – vagyis az a tény, hogy oly erősen eltértünk a véletlen párosodástól a nyelv, a vallás és egyéb kulturális tényezők által meghatározott irányokba – a múltban igencsak furcsa dolgokat művelt genetikánkkal. Ennek ellenére, ha a gének összességét vesszük számításba, nagyon egynemű faj vagyunk, ám meghökkentő változatokkal a felszínes tulajdonságok terén, amelyek lényegtelenek ugyan, de feltűnőek: abrakot adnak a megkülönböztetésnek. A megkülönböztetés nem csupán a párválasztásra vonatkozhat, hanem az ellenség, illetve az idegengyűlölet és vallásos előítélet áldozatainak megválasztására is.

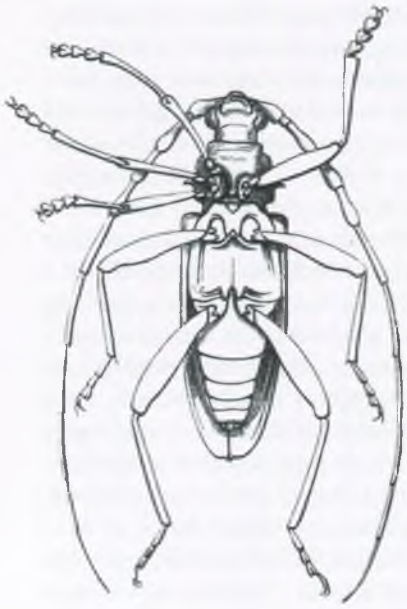
* Ha az elméletet követni akarjuk, az elhárítandó potenciális probléma az, hogy a matematika genetika elmélete a földrajzi elszigetelődéssel, és ebből következőleg ezzel a kulturális elmélettel kapcsolatban is felveti, hogy a genetikai differenciálódáshoz a szétválásnak meglehetősen teljesnek kell lennie.

A GYÜMÖLCSLÉGY MESÉJE

1894-ben az úttörő genetikus, William Bateson kiadott egy könyvet *Materials for the Study of Variation, Treated Especial Regard to Discontinuity in the Origin of Species* (Anyagok a változatok tanulmányozásához, különös tekintettel a fajok eredetében mutatkozó diszkontinuitásra) címmel. Összeállított egy elképesztő, csaknem hátborzongató listát a genetikai abnormitásokról, és azt latolgatta, hogyan világíthatják ezek meg az evolúciót. Listáján szerepeltek hasadt patájú lovak, antilopok egyetlen szarvval a fejük közepén, háromkezű emberek, és egy bogár, egyik oldalán öt lábbal. Könyvében Bateson megalkotta a *homeózis* kifejezést a figyelemre méltó genetikai változatokra. A *homoio* görögül 'azonost' jelent, és a homeotikus

mutáció (ahogy ma mondanánk, bár a *mutáció* szót még nem alkották meg akkor, amikor Bateson a könyvét írta) az, aminek hatására az egyik testrész valahol másutt bukkan föl.

Bateson példái között szerepelt egy levéldarázs, amelynek egyik lába a csáp helyén nőtt ki. Mihelyt meghalljuk ezt a különleges rendellenességet, Batesonnal együtt nyilván arra gyanakszunk, hogy kell lennie valami lényeges vezérfonalnak, amely megmondja, hogyan fejlődjék egy állat normálisan. Batesonnal együtt igazunk lenne, és éppen erről szól ez a mese. Ezt a bizonyos homeózist – lábat a csáp helyén – később a *Drosophila* gyümölcslégynél is felfedezték, és elnevezték csáplábnak. A *Drosophila* (harmatszerető) már régóta a genetikusok kedvenc állata. Az embriológiát soha nem szabad összekeverni a genetikával, de újabban a *Drosophila* fő szerepet játszik mind az embriológiában, mind a genetikában, és ez a mese most az embriológiáról szól.



Bateson rajza egy homeotikus mutáns bogárról. Megjelent 1894-ben [18].

Az embriológiai fejlődést a gének szabályozzák, de ez elméletileg két igen eltérő módon történhet. *Az egér meséje* tervrajzként vagy receptként mutatta be őket. A kőműves úgy építi a házat, hogy a tervrajz által meghatározott helyekre helyezi el a téglákat. A szakács nem úgy készíti a süteményt, hogy a morzsát és a ribizlit meghatározott helyre teszi, hanem az összetevőket meghatározott eljárások során adagolja, úgymint szitálás, keverés, felverés és melegítés.* A biológiai tankönyvek tévednek, amikor a DNS-t tervrajzként mutatják be. Az embriók távolról sem művelnek semmit, ami a tervrajzkövetésnek felelne meg. A DNS nem egy bármilyen nyelvű leírás arról, hogyan kell kinéznie a kész testnek. Talán egy másik bolygón élő lények tervrajzra épülő embriológia alapján fejlődnek, bár eléggé nehezen tudom elképzelni, ez hogyan működne. Egészen másfajta élet lenne az. Ezen a bolygón az embriók receptet követnek. Vagy hogy egy másik nem tervrajzszerű hasonlattal éljünk, amely bizonyos értelemben találóbb, mint a receptes, az embriók úgy alkotják meg magukat, mintha egy origami hajtogatási utasításának lépéseit követnék.

* Ezt a kedvenc hasonlatot először barátom, Sir Patrick Bateson használta, aki történetesen Sir William rokona.

Az origami hasonlat jobban illik a korai embriológiára, mint a későbbire. A test főbb szerveit kezdetben sejtrétegek gyűrődései és betüremkedései alakítják ki. Ha egyszer a fő testterv biztonságosan megvalósult, a fejlődés későbbi szintjei nagyrészt növekedésből állnak, mintha az embrió minden részében úgy felfúvódna, mint egy léggömb. Azonban igencsak különös léggömbről van itt szó, mivel a test különböző részei eltérő mértékben fúvódnak föl, és ennek aránya gondosan szabályozott. Ez az allometriának nevezett fontos jelenség. A gyümölcslégy meséje főként a korábbi, az origami fázisú fejlődéssel és nem a későbbivel, a felfúvódóval foglalkozik.

A sejtek nem úgy rendeződnek el, mint terv szerint rakott téglák, hanem a sejtek viselkedése határozza meg az embrionális fejlődést. A sejtek vonzanak vagy ta-

szítanak más sejteket. Különféle módon alakot váltanak. Vegyületeket választanak ki, amelyek kiáradhatnak, és még nagy távolságról is befolyásolhatnak más sejteket. Olykor szelektíven pusztulnak el, és kivonás révén olyan alakzatokat formálnak, mintha szobrász munkálkodott volna rajtuk. A várépítésben együttműködő termeszekhez hasonlóan a sejtek is úgy „tudják", mi a teendő, hogy a velük kapcsolatban álló, szomszédos sejtekhez fordulnak, valamint válaszolnak a különböző töménységi fokozatú vegyületekre. Az embrió valamennyi sejtje ugyanazokat a géneket tartalmazza, úgyhogy nem a génjeik különböztetik meg az egyik sejt viselkedését a másikétól. Ami egy sejtet megkülönböztet, az nem más, mint hogy melyik gének kapcsolódnak be, ami általában kifejeződik a sejt termékében, a gént tartalmazó fehérjékben.

A nagyon korai embrióban a sejtnek azt kell „tudnia", hol helyezkedik el a két fő dimenzió: az elöl és hátul, valamint a felső és alsó (háti–hasi). Mit jelent az, hogy „tudja"? Kezdetben azt jelenti, hogy egy sejt viselkedését a két tengelyen lévő kémiai gradiens mentén elfoglalt helyzete határozza meg. Az ilyen gradiensek szükségszerűen magából a petéből indulnak, ezért az anyai gének, és nem a pete saját sejtmaggénjei irányítják. Például a *Drosophila* anyai genotípusában a *bicoid* nevű gén a petét készítő „dajkasejtekben" fejeződik ki. A *bicoid* gén által készített fehérje elszállítódik a petébe, ahol az egyik végen felhalmozódik, miközben a másik vég felé haladva egyre kevesebb lesz. Az ennek eredményeként kialakuló sűrűségi gradiens (és más effélék) határozzák meg az első–hátsó tengelyt. Ehhez hasonló, de merőlegesen lejátszódó folyamatok jelölik ki a háti–hasi tengelyt.

Ezek a kijelölő sűrűsödések megmaradnak azon sejtek anyagában is, amelyeket a sejt ezt követő osztódása eredményez. Az első néhány osztódás új anyag hozzáadása nélkül zajlik, és az osztódások sem teljesek: sok sejtmag készül, de ezek nem különülnek el sejtfallal. Ezt a többmagvas „sejtet" szincíciumnak nevezzük. Később kialakul a sejtfal, és az embrió valódi soksejtűvé válik. Mindeközben, ahogy mondtam, az eredeti kémiai gradiensek változatlanok maradnak. Ennek következtében az embrió különböző részeiben lévő sejtmagok a kulcsfontosságú anyagok eltérő sűrűségű fürdőjében részesülnek az eredeti kétdimenziós gradienseknek megfelelően, és ennek hatására más és más gének kapcsolnak be a sejtekben (most már természetesen az embrió saját génjeiről beszélünk, és nem az anyai génekről). Így kezdődik a sejtek differenciálódása, és a fejlődés későbbi fázisaiban az elv kivetülései további differenciálódáshoz vezetnek. Az anyai gének által kialakított eredeti gradiensek átadják a helyüket az embrió saját génjei által meghatározott új és bonyolultabb gradienseknek. Az embrionális sejtek származási vonalainak ezt követő elágazásai ismétlődően további differenciálódást keltenek.

Az ízeltlábúakban a test nem csupán sejtekre, hanem nagymértékben szelvényekre is osztódik. A szelvények sorban rendeződnek el a fejtetőtől a végbélig. A rovarok feje hat szelvényből áll, amelyekből a csápok a második szelvényen helyezkednek el, amit a csáprágók és egyéb szájszervek szelvényei követnek. A felnőtt rovar fejének szelvényei kis helyre zsúfolódnak össze, így első–hátsó elrendezése nem túl világos, az embrióban azonban még látható. A három torszelvény (T_1, T_2, T_3), amelyek mindegyikén egy pár láb helyezkedik el, már egyértelműen sorba rendeződik. A T_2 és a T_3 rendesen szárnyakat is tart, ám a *Drosophilánál* és más legyeknél is csak a T_2-n találhatók szárnyak.* A második pár „szárny" egyen-

* Más rovarok, mint például a csótányok és a bogarak, csak T_3-as szárnyakkal repülnek, míg a T_2-es szárnyakat elytrának nevezett kemény szárnyfedelekké alakítják. A tücskök és a sáskák, mint láttuk, az elytrát hangképző szervvé módosították.

súlyozókká, kis bunkó alakú szervvé alakult át, amely miniatűr giroszkópként a légy irányítását szolgálja. Némely korai rovarkövületnek három pár szárnya volt, egy-egy pár mindhárom torszelvényen. A torszelvények mögött találhatók a nagyobb számú potrohszelvények (11 egyes rovaroknál, 8 a *Drosophilánál*, attól függően, hogyan számoljuk a hátsó végen elhelyezkedő nemi szerveket). A sejtek „tudják" (a már kifejtett értelemben), hogy melyik szelvényben vannak, és ez alapján viselkednek. Az egyes sejtek egy speciális szabályzó gén, a sejten belül bekapcsolódó Hox-gén közvetítése révén értesülnek arról, melyik szelvényben tartózkodnak. A gyümölcslégy meséje javarészt a Hox-génekről szól.

Nagyon takarosan és könnyen érthetővé tenném a dolgokat, ha arról számolhatnék be, hogy minden szelvényhez egy Hox-gén rendelődik, és az egyes szelvények valamennyi sejtjében csak meghatározott számú saját Hox-gén kapcsolódik be. Még takarosabb lenne, ha a Hox-gének ugyanabban a sorrendben fűződnének föl a kromoszómaláncra, amilyen sorrendben a szelvényeket irányítják. Nos, a helyzet nem *egészen* ilyen takaros, csak majdnem. A Hox-gének valóban a megfelelő sorrendben helyezkednek el a kromoszómán, és ez csodás – bár hiába, ha figyelembe vesszük, hogyan működnek a gének. Viszont nincs elegendő Hox-gén a szelvényekhez, hiszen csak 8 van belőlük. És akad itt még ennél zavarosabb bonyodalom is, amit el kell takarítanom az útból. A felnőttek szelvényei nem pontosan felelnek meg a lárvák úgynevezett *para*szelvényeinek. Ne kérdezzék, miért (talán a Tervező szabadnapot vett ki), de minden felnőtt szelvény egy lárvaparaszelvény hátsó és a következő első feléből épül föl. Ezután, hacsak nem jelzem ennek ellenkezőjét, a *szelvény* szót a lárva (para)szelvényére fogom alkalmazni. Ami azt a kérdést illeti, hogy a 8, egy sorban álló Hox-gén hogyan irányít mintegy 17, egy sorban álló szelvényt, azt mondhatom, hogy itt részben újra a kémiai gradiens trükkjének alkalmazására kerül sor. Minden Hox-gén főként egy szelvényben nyilatkozik meg, de hátrafelé csökkenő töménységben több hátsó szelvényben is jelen van. Valamely sejt abból „tudja", melyik szelvényben tartózkodik, hogy összehasonlítja több fontebb elhelyezkedő Hox-gén vegyülettermelését. Ennél kissé bonyolultabb a dolog, de e helyen nincs értelme további részletekbe menni.

A 8 Hox-gén két géncsoportba rendeződik, amelyek ugyanazon a kromoszómán fizikailag elválasztva találhatók. Ezeket csápláb (antennapedia) csoportnak és ikertor (bithorax) csoportnak nevezzük. Ezek a nevek kétszeresen is szerencsétlenek. Egyrészt egy géncsoportot olyan génről neveztek el, amely semmivel sem fontosabb tagja a csoportnak, mint a többi, másfelől – hogy még rosszabb legyen a helyzet – magukat a géneket sem rendes működésük alapján, hanem aszerint nevezik el, hogy mi történik, ha elromlanak. Jobb lenne, ha első Hox-csoportnak és hátsó Hox-csoportnak hívnánk őket, de azért kitartunk a meglévő neveik mellett.

Az ikertor csoport az utolsó három Hox-génből áll. Ezek történeti okoknál fogva kapták *Ultrabithorax*, *Abdominal-A* és *Abdominal-B* nevüket, de ezzel most nem foglalkozunk. A következőképpen befolyásolják az állat hátsó felét. Az *Ultrabithorax* a 8. szelvénytől kezdve a legvégső szelvényig megnyilvánul, az *Abdominal-A* a 10. szelvénytől végig fejti ki hatását, míg az *Abdominal-B* a 13. szelvénytől az állat végéig. Ezek a gének csökkenő sűrűségben állítják elő termékeiket, ahogy a különböző kiindulópontokból az állat fara felé haladunk. Így, e három Hox-gén termékeinek sűrűségének összevetésével a lárva hátsó felének valamely sejtje meg

tudja mondani, melyik szelvényben van, és ehhez idomulva viselkedik. Ugyanez a történet vonatkozik a lárva első felére, ahol a csápláb csoport öt Hox-génje van szolgálatban.

A Hox-gén tehát olyan gén, amelynek az a küldetése az életben, hogy tudja, hol található a testben, és erről tájékoztassa az ugyanabban a sejtben lévő többi gént. Most már felszerelkeztünk a homeotikus mutáció megértésére. Amikor valami elromlik a Hox-génben, a szelvény sejtjei téves tájékoztatást kapnak arról, melyik szelvényben ülnek, és olyan szelvényt készítenek, amelyben magukat „vélik". Így kerülhet sor például arra, hogy láb nő egy olyan szelvényen, amelynek normál esetben csápot kellene növesztenie. Ez teljesen érthető. Bármely szelvény sejtjei tökéletesen képesek arra, hogy bármely másik szelvény anatómiáját állítsák össze. Miért ne tennék? Minden szelvény sejtjeiben ott lapul a bármely szelvény felépítéséhez szükséges utasítás. Normál körülmények között a Hox-gének szólítják elő az egyes szelvények anatómiájának elkészítéséhez szükséges „helyes" utasításokat. Ahogy William Bateson helyesen sejtette, a homeotikus rendellenességek ablakot tárnak a rendszer normális működésére.

Jusson eszünkbe, hogy a legyeknek, a rovarok közt szokatlan módon, rendesen csak egy pár szárnyuk és egy pár giroszkóp egyensúlyszervük van. A homeotikusan mutáns *Ultrabithorax* félrevezeti a 3. torszelvény sejtjeit, amelyek így azt „gondolják", hogy a 2. torszelvényben vannak. Ezért közreműködnek egy többlet pár szárny készítésében ahelyett, hogy egy pár egyensúlyszervet készítenének (lásd a képet). Van egy olyan mutáns lisztbogár *(Tribolium)*, amelynél mind a 15 szelvény csápot fejleszt, feltehetően azért, mert valamennyi sejt azt „gondolja", hogy a 2. szelvényben van.



A SEJTEK AZT „GONDOLJÁK", HOGY EGY MÁSIK SZELVÉNYBEN VANNAK
Homeotikusan mutáns gyümölcslégy

És ez elvezet bennünket a gyümölcslégy meséjének legszebb részéhez. Miután a *Drosophilá*ban felfedezték őket, a Hox-gének mindenütt sorra felbukkantak: nem csupán a többi rovarban és bogárban, hanem csaknem az összes állatban, amelyet megvizsgáltak, beleértve minket is. És mint kiderült – ez valóban csaknem túl szép ahhoz, hogy igaz legyen –, gyakran ugyanazt a dolgot művelték, egészen addig, hogy tájékoztatják a sejteket, melyik szelvényben vannak, sőt (és ez még csodásabb) addig, hogy ugyanabban a sorrendben helyezkednek el a kromoszómákon. Forduljunk most az emlősök története felé, amelyet laboratóriumi egereken – az emlősvilág e *Drosophilá*in – a legalaposabban dolgoztak ki.

Az emlősök, akárcsak a rovarok, szelvényes vagy legalábbis moduláris testtervvel rendelkeznek, amely a gerincoszlopra és a hozzákapcsolódó szerkezetekre gyakorol hatást. Úgy gondolhatjuk el, hogy minden egyes csigolya egy-egy szelvénynek felel meg, de nem csupán a csontok ismétlődnek ritmikusan a nyaktól a farok felé haladva, hanem a véredények, idegek, izomkötegek, porckorongok és bordák is mind az ismétlődő, moduláris tervet követik. Minden egyes modul – akárcsak a *Drosophilá*ban – ugyanazon főtervet valósítja meg, részleteikben mégis eltérnek egymástól. És miként a rovarok fejre, torra és potrohra taglódnak; a gerincesek nyaki, törzsi (a első hátgerinc a bordákkal), ágyéki (bordák nélküli alsó hátgerinc) és farok részekre.

A *Drosophilá*hoz hasonlóan a sejteknek – akár csont-, izom-, porc- vagy bármely más sejtek – ugyancsak tudniuk kell, melyik szelvényben tartózkodnak. Márpedig akárcsak a *Drosophilá*ban, ezt ők is a Hox-génektől tudják – olyan Hox-génektől, amelyek felismerhetően hasonlítanak a *Drosophila* megfelelő Hox-génjeihez, bár – tekintettel a roppant időtartamra, amely a 26. köz-ős óta eltelt, nem meglepő módon –, azért az azonosságtól is távol állnak. Megint csak a *Drosophilá*hoz hasonlóan a Hox-gének megfelelő sorrendben ülnek a kromoszómán. A gerinces modularitás igencsak különbözik a rovarokétól, és nincs okunk azt feltételezni, hogy közös ősük, a 26. találkozáson, szelvényezett állat volt. A Hox-gének bizonysága azonban legalábbis arra utal, hogy van valamifajta mély hasonlóság a rovarok és a gerincesek testterve között, amely megvolt a 26. köz-ősben, mi több, valójában egyéb, még a nem szelvényezettek testterveiben is.

Az egerekben a Hox-gének nem egyféleképpen rendeződnek el a kromoszómán, hanem négy különböző módon. Az *a* sorozat a 6. kromoszómán, a *b* sorozat a 11. kromoszómán, a *c* sorozat a 15. kromoszómán, míg a *d* sorozat a 2. kromoszómán található. Hasonlóságaik azt mutatják, hogy megkettőződéssel jöttek létre az evolúció során: *a4* illik *b4*-hez, az illik *c4*-hez, az illik *d4*-hez. Előfordulnak törlődések is, mivel bizonyos helyek (szlotok) hiányoznak a négy elrendezés mindegyikéből: *a7* és *b7* illenek egymáshoz, de sem a *c*, sem a *d* sorozatnak nincs megfelelője a 7. „helyen" (szlot). Amikor egy Hox-gén két, három vagy négy változata is hatást gyakorol egy szelvényre, hatásuk keveredik, és – ismét a *Drosophilá*hoz hasonlóan – valamennyi egér-Hox-gén hatástartománya első szegmensében fejti ki a legerősebb hatást, és megnyilvánulása fokozatosan csökken a hátsó szegmensek felé haladva.

Az ügy ennél is jobban áll. Jelentéktelen kivétellel a *Drosophila* nyolc Hox-génjének sorából minden egyes gén jobban hasonlít az egér sorozatában neki megfelelő számú génre, mint amennyire a *Drosophila* sorozat többi hét génjére hasonlít. Ráadásul ugyanabban a sorrendben helyezkednek el a megfelelő kromoszómáikon. A nyolc *Drosophila* gén mindegyikének legalább egy képviselője van az egér 13-as sorozatában. A részletes gén a génnek megfelelés a *Drosophila* és az egér között csakis közös öröklést jelezhet – a 26. köz-őstől, azaz valamennyi összájú és valamennyi újszájú nagy közös nemzőjétől. Ez azt jelenti, hogy az állatok túlnyomó többsége olyan őstől származik, amelynek Hox-génjei ugyanolyan sorrendben helyezkedtek el, mint amit a mai *Drosophilá*nál és a mai gerinceseknél látunk. Gondoljunk csak bele! A 26. köz-ősnek Hox-génjei voltak, mégpedig ugyanabban a sorrendben, mint a mieink.

Már említettem, hogy ebből nem következik, hogy a 26. köz-ős teste elkülönült szelvényekre tagolódott volna. Sőt talán egyáltalán nem. Biztosan volt viszont valamiféle olyan, a fejtől a farokig tartó első–hátsó fokozatosság, amit a kromoszómán megfelelő sorrendben elhelyezkedő Hox-gének megegyező sorozatai közvetítettek. Minthogy a közös ősök már kihaltak, és a modern molekuláris biológia számára elérhetetlenek, roppant jelentősége van annak, hogy Hox-génjeiket megtaláljuk mai utódaikban.

A 23. köz-ősön a lándzsahalakkal osztozunk. Tekintetbe véve, hogy a távolabbi *Drosophilá*nak ugyanaz az első–hátsó sorozata, mint az emlősöké, igencsak aggasztó lenne, ha a lándzsahalaknál hiányozna. Peter Holland kollégám és kutatócsoportja

megvizsgálta a dolgot, és eredményeik megnyugtatóak. Igen, a lándzsahalak testtervét is Hox-gének (14 db) közvetítik, és igen, megfelelő sorrendben helyezkednek el a kromoszómán. Az egerekkel ellentétben, de a *Drosophilá*hoz hasonlóan nem négy párhuzamos, hanem csak egy sorozatuk van. Feltehetően az egész csoport megnégyszereződött valahol a 23. köz-őstől a mai emlősökig vezető vonalon, amit bizonyos gének szórványos elvesztése követett.

És mi a helyzet azokkal az állatokkal, amelyeket azért válogattak ki tervszerűen, hogy hátha van valami mondandójuk egyéb köz-őseinkről nekik is? Ma már megtalálták a Hox-géneket valamennyi megvizsgált állatban, kivéve a bordás medúzákat és a szivacsokat (lásd a 29., illetve 31. találkozást), többek közt a tengerisünökben, a *Limulus*ban, a garnélarákokban, a puhatestűekben, a gyűrűsférgekben, a makkférgekben, a tengeri zsákállatokban, a fonálférgekben és a laposférgekben. Mindezt annak ismeretében sejthettük volna, hogy mindezek az állatok a 26. köz-őstől származnak, és már jó okunk van azt gondolni, hogy utódaihoz, a *Drosophilá*khoz és egerekhez hasonlóan neki is voltak Hox-génjei.

A csalánozók, mint például a *Hydrá*k (csatlakozásuk a 28. találkozásig nem esedékes), sugarasan szimmetrikusak – nincs sem első–hátsó, sem háti–hasi tengelyük. Nekik száji/szájjal szemközti (orális/aborális) tengelyük van. Nem egyértelmű, hogy mi (ha egyáltalán valami) felel meg hosszú tengelyüknek, vagyis milyen tevékenységet várhatunk Hox-génjeiktől. Szép volna, ha az orális/aborális tengely meghatározására használnák őket, de mindeddig nem egyértelmű, hogy így lenne. A legtöbb csalánozónak csak két Hox-génje van, szemben a *Drosophila* nyolc és a lándzsahal tizennégy génjével. Az belefér a képbe, hogy e két gén egyike hasonlít a *Drosophila* első géncsoportjához, a másik a hátsó géncsoportjához. A velük közös 28. köz-ősben feltehetően ugyanígy volt. Aztán az egyik az evolúció során többször megkettőződve a csápláb csoportot, a másik ugyanazon az állati leszármazási vonalon megkettőződve az ikertor csoportot eredményezte. A gének pontosan ilyen módon gyarapodnak a genomban (lásd *Az ingola meséjét*). További kutatás szükséges azonban ahhoz, hogy megtudjuk, a két génnek mi a szerepe – ha van egyáltalán – a csalánozók testének megtervezésében.

A tüskésbőrűek a csalánozókhoz hasonlóan sugaras szimmetriájúak, de csak másodlagosan. A 25. köz-ős, amin velünk, gerincesekkel osztoznak, kétoldalún volt szimmetrikus, mint egy féreg. A tüskésbőrűek Hox-génjeinek száma változó – a tengerisünökben például tíz. Mit csinálnak ezek a gének? Vajon nem lapul a tengericsillag testében egy ősi első–hátsó tengely maradványa? Vagy a Hox-gének egymás után mind az öt karban kifejtik hatásukat? Ennek mintha volna értelme. Tudjuk, hogy a Hox-gének kifejeződnek az emlősök karjaiban és lábaiban. Nem úgy értem, hogy a Hox-gén sorozatai 1-től 13-ig sorrendben kifejeződnének a válltól az ujjhegyig. Ennél bonyolultabb az ügy, hiszen a gerinces végtagok nem egymás után teljes hosszban elrendeződő modulokból álnak. Ehelyett van az első csont (felkarcsont a karban, combcsont a lábban), aztán két csont (orsócsont és singcsont a karban, sípcsont és szárkapocscsont a lábban), majd sok kis csont, amelyek a kéz- és lábujjakban végződnek. Ez a halőseink még nyilvánvalóbban legyező elrendeződésű úszóitól örökölt legyezős elrendezés nem alkalmas az egyszerű Hox-elrendeződésre. Mindazáltal a Hox-gének részt vesznek a gerincesek végtagfejlődésében.

Ennek mintájára nem lenne meglepő, ha a Hox-gének megnyilvánulnának a tengericsillagok vagy a kígyókarú csillag karjaiban (sőt még a tengerisünöket is el lehet gondolni olyan tengericsillagokként, amelyek karjai egy ötágú ívbe felpöndörödtek, majd oldalt összezárultak). Emellett a tengericsillagok karjai a mi karjainktól vagy lábainktól eltérően valóban sorozatosan modulárisak hosszirányban. A csőlábak és a hozzájuk társuló hidraulikus vezetékek a karok hosszában két párhuzamos sorban ismétlődő egységek: pontosan a Hox-gének megnyilvánulására jellemző jelenség! A kígyókarú tengericsillag karjai is úgy néznek ki, és úgy viselkednek, mint öt féreg.

T. H. Huxley szerint „a tudomány nagy tragédiája, amikor egy gyönyörű elméletet agyoncsap egy rusnya tény". A tüskésbőrűek Hox-génjeinek valódi tényei talán nem rusnyák, de nem is követik azt a takaros mintát, amire épp az imént utaltam. Valami más történik, aminek szintén megvan a maga sajátos, meglehetősen meglepő szépsége. A tüskésbőrűek lárvái parányi, kétoldalasan szimmetrikus planktonúszók. Az ötsugaras szimmetriájú, fenéklakó felnőtt nem a lárva átalakulásával fejlődik ki. Miniatűr felnőttként indul a lárva testén *belül*, amely addig növekszik, míg végül a lárva kiselejteződik. A Hox-gének a pontos sorrendben megnyilvánulnak, de nem az egyes karok mentén. A megnyilvánulás sorrendje a csecsemő-felnőttben nagyjából *kör alakú* útvonalat követ. Ha a Hox-tengelyt „féregként" gondoljuk el, akkor itt nem öt „féreg" van – azaz minden karban egy. Itt egy „féreg" tekeredik össze a lárván belül. A „féreg" első része növeszti az 1. kart, hátsó vége pedig az 5. kart. A tengericsillag homeotikus mutációja várhatóan túl sok kart növeszt. És szó, ami szó, ismerünk is hatkarú mutáns tengericsillagokat, sőt még Bateson is megemlékezik róluk a könyvében. Van néhány olyan tengericsillagfaj is, amelyeknek jóval több karjuk van: ezek feltehetően homeotikusan mutáns ősökből fejlődtek ki.

Nem bukkanunk Hox-génekre a növényekben, sem a gombákban, sem a protozoáknak nevezett egyszerű szervezetekben. Most azonban egy olyan terminológiai bonyodalomhoz érkeztünk, amit érintenünk kell, mielőtt továbbmennénk. A „hox" a „homeobox" összevonásából képzett szó, ám a Hox-gének nem azonosak a homeobox-génekkel: azoknak egy alkészletét jelentik. Homeobox-génjeik a növényeknek és a gombáknak is vannak, de Hox-génjeik nincsenek.*

A „homeo" Bateson „homoeózisából" származik, míg a „box" arra a 180 kódbetűt tartalmazó „dobozra" vonatkozik, amely valamennyi homeoboxként ismert gén hosszában megtalálható valahol. Tehát a homeobox a 180 kódbetű ezen diagnosztikai sorozata, a „homeobox-gén" pedig olyan gén, amelynek hosszában valahol feltűnik a homeobox-sorozat. A *Hox* név nem használatos valamennyi homeobox-génre, csak azokra a soros elrendezésű génekre, amelyek egy állat testének teljes hosszában meghatározzák a helyzetet, és amelyekről kiderült, hogy azonosak csaknem minden állatban.

A homeobox-gének Hox családját fedezték föl elsőként, de ma már sok rokon családot ismerünk. Van például egy ParaHoxnak nevezett géncsalád, amelyet először a lándzsahalakban azonosítottak határozottan, de amelyek ugyancsak minden állatban felbukkannak, kivéve (egyelőre) a bordás medúzákat és a szivacsokat. Úgy tűnik, a ParaHox-gének olyan értelemben „unokatestvérei" a Hox-géneknek, hogy megfelelnek azok sorrendjének és elrendeződésének. Nyilván ugyanabból az

* A növényeknek és a gombáknak is rendelkezniük kell a géneket és a kémiai gradienseket szabályzó rendszerekkel, hogy megfelelő alakúra nőjenek. A virágok embriológiáját a „MADS box" gének határozzák meg, amelyek éppolyan homeotikus mutációkat eredményezhetnek bennünk, mint a Hox-gének az állatokban.

ősi génkészletből alakultak ki megkettőződéssel, mint a Hox-gének. Más homeobox-gének távolabbi rokonai a Hox- és ParaHox-géneknek, de ők is saját családokat alkotnak. A *Pax* család valamennyi állatban megtalálható. A családnak különösen nevezetes tagja a *Pax6*, amely megfelel a *Drosophilá*ban *ey*-ként ismert génnek. Már említettem, hogy a *Pax6* felelős azért, hogy a sejteket a szemkészítésre utasítsák. Ugyanaz a gén készíti a szemeit annyira különböző állatoknak, mint a *Drosophila* és az egér, még ha a szemek gyökeresen különböznek is a két állatban. A Hox-génekhez hasonlóan a *Pax6* nem azt mondja meg a sejteknek, *hogyan* készítsenek szemet, csak azt, hogy itt az a *hely*, ahol a szem elkészíthető.

Meglehetősen hasonló példa a *tinman* nevű gének kis családja. A *tinman* ugyancsak jelen van mind a *Drosophilá*ban, mind az egérben. A *Drosophilá*ban a *tinman* gének felelősek azért, hogy a sejteket szívkészítésre utasítsák, és normális esetben pont azon a helyen lépnek működésbe, ahol a *Drosophila* számára szívet kell készíteni. Ahogyan mostanra már-már kezdjük elvárni, a *tinman* gének vesznek részt abban is, hogy az egérsejteket pontosan a megfelelő helyen egérszív készítésére szólítsák föl.

A homeobox-gének teljes készlete igen nagyszámú, amelyek éppúgy családokra és alcsaládokra oszthatók, mint maguk az állatok. Hasonlít ez *Az ingola meséjé*ben taglalt hemoglobin esetére. Ott megtudtuk, hogy az emberi alfa-globin valóban közelebbi unokatestvére mondjuk a gyík alfa-globinjának, mint az emberi béta-globinnak – amely viszont megint közelebbi unokatestvére a gyík béta-globinjának. Hasonlóképp, az emberi *tinman* közelebbi unokatestvére a gyümölcslégy *tinman*jának, mint az emberi *Pax6*-nak. El lehet készíteni a homeobox-gének részletes családfáját, amely párhuzamosan létezik az őket tartalmazó állatok családfájával. Mindkét családfa egyformán érvényes. Mindkettő a leszármazás valóságos fája, amely a földtörténet bizonyos időpontjaiban végbement hasadásokból áll. Az állatok családfái esetében a hasadási események fajképződéseket, a homeobox- (vagy globin) gén családfák esetében a genomon belül lejátszódó génmegkettőződéseket jeleznek.

Az állati homeobox-gének fái két nagy osztályra bomlanak: az AntP és a PRD osztályokra. Nem bogozom ki, mit jelentenek ezek a rövidítések, mert mindkettő visszás módon zavaró. A PRD osztályba tartoznak a *Pax*-gének és különböző egyéb alosztályok. Az AntP osztály tartalmazza a Hox- és ParaHox-géneket, és egyéb alosztályokat. Az állati homeobox-gének e két nagy osztálya mellett sok egyéb, távolabbi rokon homeobox-gén is létezik, amelyeket (félrevezető módon) „eltérőnek" hívnak. Ezek nemcsak az állatokban, hanem a növényekben, a gombákban és a „protozoákban" is előfordulnak.

Csak az állatokban találunk igazi Hox-géneket, amelyek mindig ugyanúgy használatosak – hogy információt közöljenek a testben elfoglalt helyzetről, függetlenül attól, hogy a test takarosan különálló szelvényekre oszlik-e vagy sem. Bár a szivacsokban vagy a bordás medúzákban még nem akadtak Hox-génekre, ez nem jelenti azt, hogy nem is akadnak majd. Nem lenne meglepő, ha kiderülne, hogy valamennyi állatban megtalálhatók. Ez az eset ösztönzést adna kollégáimnak, Jonathan Slacknek, Peter Hollandnak és Christopher Grahamnak, akik akkoriban éppen mind Oxfordban tartózkodtak, hogy új meghatározását adják magának az *állat* szónak. Mindeddig az állatokat a növényekkel szemben meglehetősen fogyatékos, negatív módon határozták meg. Slack, Holland és Graham egy pozitív, különös

kritériumot javasolt, amely hatásában egyesítené az összes állatot, és kizárná a nem állatokat, a növényeket és a protozoákat. A Hox-történet megmutatja, hogy az állatok törzse nem egy egymástól erősen eltérő, egymással össze nem fűzött egyveleg, amely tagjainak mindegyike magányos elszigeteltségben szerzett és megtartott, saját alapvető testtervvel rendelkezik. Ha elfeledjük a morfológiát, és csak a géneket nézzük, kiderül, hogy valamennyi állat apró variáció egyazon témára. Micsoda öröm egy ilyen korban zoológusnak lenni!

A KEREKESFÉREG MESÉJE

A pletykák szerint Richard Feynman, a ragyogó elméleti fizikus azt mondta: „ha valaki úgy véli, hogy érti a kvantumelméletet, akkor nem érti a kvantumelméletet". Kísértést érzek e mondás evolucionista változatának megfogalmazására, miszerint „ha valaki úgy véli, hogy érti a szexet, akkor nem érti a szexet". Az a három modern kori darwinista, akiktől szerintem a legtöbbet tanulhatunk – John Maynard Smith, W. D. Hamilton és George C. Williams –, hosszú pályafutása jelentős részét szentelte annak, hogy megbirkózzon a szexualitással. William 1975-ös, *Sex and Evolution* (Szex és evolúció) című könyvét egy magához intézett kihívással kezdte: „Ez a könyv abban a meggyőződésben született, hogy az ivaros szaporodás túlsúlya a magasabb rendű növényekben és állatokban összeegyeztethetetlen a jelenlegi evolúciós elmélettel... az evolúciós biológia egyfajta válságával van dolgunk..." Maynard Smith és Hamilton is hasonlókat írt. Mindhárom darwinista hős és a nyomukban felemelkedő nemzedék egyaránt e válság leküzdése érdekében munkálkodott. Meg sem kísérlem összegezni erőfeszítéseiket, és természetesen nem is állok elő saját rivális megoldással. Inkább az ivaros szaporodásnak az evolúcióról alkotott képünkre gyakorolt, egy kevéssé vizsgált *következményét* mutatom be a kerekesféreg meséjében.



Evolúciós botránykő
Egy Antarktiszon talált bdelloid kerekesféreg *(Philodina gregaria)* mikrofényképe

A Bdelloidea a Rotifera (kerekesférgek) törzsének egyik nagy osztálya. A Bdelloidea kerekesférgek léte valóságos evolúciós botránykő. Ez nem a saját *bonmot*-m – John Maynard Smith összetéveszthetetlen hangja csendül ki belőle. Sok kerekesféreg ivartalanul szaporodik. Ebben a tekintetben hasonlítanak a levéltetvekre, a botsáskákra, többféle bogárra és néhány gyíkra, így nem különösebben botrányosak. Maynard Smith begyét nem más nyomta, mint hogy *minden* Bdelloidea kizárólag ivartalanul szaporodik, vagyis a legutolsó példányukig, márpedig nyilvánvalóan egy olyan Bdelloidea közös őstől származtak, amely elég régen élt ahhoz, hogy 18 nemet és 360 fajt nemzzen. Borostyánba zárt maradványok arra utalnak, hogy ez a hím-elrúgó ősanya legalább 40 millió évvel ezelőtt, sőt nagy valószínűséggel korábban élt. A Bdelloidea igen sikeres állatcsoport, meglepően nagyszámú, és tagjai meghatározók a világ édesvízi faunájában. Soha egyetlen Bdelloidea hímet sem találtak.*

Mi olyan botrányos ebben? Nos, tegyük fel, hogy fogjuk az egész állatvilág családfáját. Az ágak végei körben a fa teljes felületén fajokat képviselnek. A főágak osztályoknak vagy törzseknek felelnek meg. Milliószámra vannak fajok, vagyis az evolúciós fa jóval ág-bogasabb, mint bármely igazi fa, amit valaha is láthatunk. Csupán néhány tíz törzs és nem túl sokkal több osztály létezik. A kerekesférgek törzse egyik ága a fának, amely négy alágra hasad, ezek egyike a Bdelloidea osztály. Ez az ág egyre csak tovább tagolódik, míg végül 360 gallyat: egy-egy fajt kapunk. Ugyanez a dolog történik az összes többi törzzsel, mindegyik a maga osztályaival és így tovább. A fa külső ágai a jelennek felelnek meg, kissé beljebb az ágak legkülső szegélyétől a közelmúltnak felel meg és így tovább, míg a fő törzs mondjuk az egymilliárd évvel ezelőtti időt képviseli.

Ezt megértvén, most szint viszünk szürke, dermedt fánkba úgy, hogy különböző színűre festjük a gallyakat, ezzel jelezvén bizonyos tulajdonságokat. Mondjuk pirosra festhetjük azokat a gallyakat, amelyek a repülő állatoknak felelnek meg – az izomerővel repülőket, szemben a passzív siklókkal, ami sokkal gyakoribb. Ha most hátralépünk, és megszemléljük az egész fát, nagy piros térségeket látunk, amelyeket a nem repülő főbb állatcsoportoknak megfelelő még nagyobb szürke térségek választanak el. A legtöbb rovar-gally, madár-gally és denevér-gally piros, és szomszédosak más piros gallyakkal. A többi közül egy sem repül. Néhány kivételtől eltekintve, mint például a bolhák vagy a struccok, három teljes osztály áll repülő állatokból. A pirosság széles, egységesen piros foltokban oszlik el az egységes szürkével szemben.

Gondoljuk el, mit jelent ez az evolúció szempontjából. A három piros foltnak a régmúltban három ősállattal kellett indulnia – egy korai rovarral, egy korai madárral és egy korai denevérrel –, amelyek fölfedezték a repülést. Miután felfedezték, a repülés nyilván igen jó ötletnek bizonyult, mivel fennmaradt és elterjedt valamennyi leszármazott ágazatban, hiszen mindhárom faj végül három hatalmas utódfajtábornak adott életet, mely fajok csaknem mindegyike továbbvitte őse repülési képességét: ez a három az Insecta osztály, az Aves osztály és a Chiroptera rend.

Ám most végezzük el ugyanezt az eljárást ezúttal ne a repüléssel, hanem az ivartalan, hímek nélküli szaporodással.** Életfánkon ezúttal kékre festjük valamennyi ivartalanul szaporodó fajnak megfelelő gallyat. Most teljesen eltérő mintázatot észlelünk. Míg a repülés nagy piros pásztákban mutatkozott, addig az ivartalan sza-

* A szőrszálhasogató pontosság kedvéért, a közel 300 éves tudományos vizsgálódás során egyetlen beszámoló említ hím Bdelloidea kerekesférget, mégpedig C. Wesenberg-Lund (1866–1955) dán zoológusé. „Jelentős kétségek között merem csak megemlíteni, hogy az ezernyi Philodinidae *(Rotifer vulgaris)* között kétszer is láttam egy kis lényt, kétségtelenül egy hím kerekesférget..., de egyik esetben sem sikerült izolálnom. Rendkívüli sebességgel köröz a rengeteg nőivarú között" (nem vitás, érthető módon). Még Mark Welch és Meselson erős bizonyítéka előtt (lásd a 355. oldalt) sem hajlottak arra a zoológusok, hogy elegendő bizonyítéknak fogadják el Wesenberg-Lund soha meg nem ismételt megfigyelését hím Bdelloidea létezése mellett.

** Ám soha nem nőstények nélkül. A petesejttel ellentétben a spermiumok túl kicsik ahhoz, hogy egyedül boldoguljanak. Az állatok ivartalan szaporodása annyit jelent, hogy lemondanak a hímekről.

porodás apró, elszórt pöttyökben jelenik meg. Egy ivartalan bogár kék gallya teljesen szürke környezetben bukkan föl. Meglehet, valamely nem három fajból álló csoportja kék, ám a szomszédos nemek szürkék. Értjük, mit jelent ez? Az ivartalan szaporodás időről időre feltűnik, de gyorsan ki is vész, mielőtt ideje lenne sok kék gallyal teli, vaskos ággá növekedni. A repüléssel ellentétben az ivartalan szaporodás szokása nem tart ki annyi ideig, hogy elegendő legyen ivartalan állatok egész családja, rendje vagy osztálya életre keltéséhez.

Egyetlen botrányos kivétellel! A többi kis kék felvillanással ellentétben a Bdelloidea kerekesférgeké akkora összefüggő, erőteljes kék folt, amely elég lenne a közmondásos matróz nadrágjához is. Az evolúció terén mindez azt jelenti, hogy egy ősi Bdelloidea-faj felfedezte az ivartalan szaporodást, éppúgy, mint az a kivételes bogár, amiről már beszéltünk. Ám míg az ivartalan bogarak és a fán elszórt többi ivartalan faj is jóval azelőtt kihal, mielőtt olyan nagyobb csoporttá fejlődhetne, mint a család vagy a rend, nem is beszélve az osztályról, addig a Bdelloidea, úgy tűnik, kitartottak az ivartalanság mellett, és elegendő evolúciós ideig gyarapodtak vele ahhoz, hogy egy egész ivartalan osztályt hozzanak létre, amely ma 360 fajt számlál. A Bdelloidea kerekesférgek számára, bár más állatfajok számára nem meggyőzően, olyan az ivartalan szaporodás, mint a repülés. A Bdelloidea számára jó és sikeres újításnak tűnik, míg a fa összes többi részén olyan ösvényt képvisel, amely gyorsan a kihalásba vezet.

Az az állítás, hogy 360 faj létezik, egy problémát vet föl. A faj biológiai definíciója szerint olyan egyedek csoportja alkot fajt, amelyek egymással kereszteződnek, de másokkal nem. A Bdelloidea, lévén ivartalanok, nem kereszteződnek semmivel. Mindegyikük külön nőivarú egyed, amelynek utódai is saját édes életüket élik: genetikai elszigeteltségben minden más egyedtől. Így amikor azt mondjuk, hogy 360 faj, csak arra gondolhatunk, hogy 360 típus létezik, amelyeket mi, emberek eléggé különbözőnek találunk ahhoz, hogyha arra számítanánk, hogy szexuálisan szaporodnak, akkor szexuális partnerként kerülnék az összes többi típust.

Nem mindenki fogadta el, hogy a Bdelloidea kerekesférgek valóban ivartalanok. Nagy logikai ugrás van azon negatív állítás, hogy még soha nem láttak hímet, és azon pozitív következtetés között, hogy hímek nincsenek. Ahogy Olivia Judson mondja meggyőzően éles elméjű zoológiai komédiájában, a *Dr Tatiana's Sex Guide to All Creation*ben (Tatjána doktornő szexkalauza valamennyi teremtményhez), a természetbúvárokat korábban gyakran kapták effélén. A látszólag ivartalan fajokról gyakran kiderül, hogy rejtett hímjeik vannak. Bizonyos horgászhalak hímjei parányi törpék, amelyek parazitaként utaznak a nőstények testén. Ha még kisebbek volnának, talán egyáltalán nem vettük volna észre őket, ahogy az kis híján megtörtént bizonyos pajzstetvek esetében, ahol a hímek, kollégám, Lawrence Hurst szavaival „a nőstények lábába kapaszkodó parányok". Hurst mentora, Bill Hamilton agyafúrt megjegyzésével folytatja:

> Milyen gyakran látott embereket szeretkezni? Ha szemlélődő marslakó volna, egészen biztosra venné, hogy ivartalanok vagyunk.

Szóval jó lenne előállni valami egyértelműbb bizonyítékkal arra, hogy a Bdelloidea kerekesférgek valóban ősileg ivartalanok. A genetikusok egyre találékonyabbak a mai állatok géneloszlási mintáinak olvasásában és az erre alapozott következtetések

levonásában. *Éva meséjé*ben találkoztunk Alan Templetonnak a korai emberi vándorlások rekonstruálására szolgáló, arra épülő módszerével, hogy élő emberek génjeiből gyűjti össze a vándorlás „jelzéseit". Ennek logikája nem a következtetésre épül. Nem abból indulunk ki, hogy a modern génekkel a történelem folyamán ennek meg annak kellett történnie. Ehelyett azt mondjuk, hogy ha a történelem menete így és úgy zajlott, akkor ilyen és olyan géneloszlási mintázatra kell számítanunk ma. Ezt tette Templeton az emberi vándorlásokkal, és valami hasonlót végzett a Bdelloidea kerekesférgekkel David Nark Welch és Matthew Meselson a Harvard Egyetemen. Mark Welch és Meselson genetikai jelzéseket használtak következtetések levonására, de nem a vándorlást, hanem az ivartalan szaporodást illetően. Ismétlem, gondolatmenetük nem a következtetésre épül, hanem úgy okoskodtak, hogy ha a Bdelloidea-fajok sok millió éve tisztán ivartlanok, akkor arra kell számítanunk, hogy a ma élő Bdelloidea-fajok génjei bizonyos mintázatot mutatnak.

Milyen mintázatot? Mark Welch és Meselson eredeti érvelést alkalmaztak. Először is tisztában kell lennünk azzal, hogy a Bdelloidea kerekesférgek, bár ivartalanok, mégis két kromoszómasoruk van (diploidok). Annyiban tehát olyanok, mint az összes ivarosan szaporodó állat, hogy mindegyik kromoszómáról két másolattal rendelkeznek. Így egy Bdelloidea petesejt olyan, mint bármely többi sejtje, és a lány, a véletlen mutációkat le- vagy hozzászámítva, saját anyjának az ikertestvére. Éppen ezek az évmilliók alatt fellépő véletlen mutációk hozták létre fokozatosan, feltehetően a természetes szelekció hatására az eltérő vonalakat, és eredményezték így a ma látható 360 fajt.

Egy ősi nőstény, amit gynarchának, ősanyának nevezek, olyan módon mutált, hogy elboldoguljon hímek és meiózis nélkül, és ehelyett a mitózis módszerével állította elő a petéit.* Attól kezdve az, hogy a kromoszómák eredetileg párosak voltak, az egész nőivarú klónozott populációban nem számít. Öt pár** kromoszóma helyett most csupán tíz kromoszóma volt, amelyek mindegyike egyre halványodó emlékekkel kapcsolódott hajdani partneréhez. Korábban valahányszor egy kerekesféreg petét vagy spermiumot készített, a kromoszómapartnerek összejöttek és géneket cseréltek. Ám azon év milliók alatt, mióta az ősanya előzte a hímeket, és megalapította a Bdelloidea gynodinasztiát, minden kromoszóma egyre távolabb sodródott hajdani partnerétől genetikailag, mivel génjeik egymástól függetlenül mutáltak. És erre annak ellenére is sor került, hogy mindvégig közös sejteken és közös testeken osztoztak. A hímek és a szex régi szép napjaiban nem így zajlottak a dolgok. Minden nemzedékben minden kromoszómapárt alkotott ellenkező felével, és mielőtt petét vagy spermát készítettek, géneket cseréltek. Ez a kromoszómapárokat egyfajta szakadatlan ölelésben tartotta, és elejét vette géntartalmuk szétsodródásának.

Nekünk 23 kromoszómapárunk van. Nekünk két 1-es kromoszómánk, két 5-ös kromoszómánk, két 17-es kromoszómánk van és így tovább. Az X és Y ivari kromoszómák kivételével nincs lényeges különbség a kromoszómapárok tagjai között. Mivel minden nemzedékben géneket cserélnek, a két 17-es kromoszóma csak két 17-es kromoszóma, és nincs értelme annak, hogy mondjuk jobb és bal oldali 17-es kromoszómának nevezzük őket. Ám attól a pillanattól kezdve, hogy a kerekesféreg ősanya befagyasztotta a genomját, mindez megváltozott. Bal 5-ös kromoszómája érintetlenül került át valamennyi lányába éppúgy, mint jobb 5-ös

* A meiózis a sejtosztódásnak az a sajátos formája, amikor a kromoszómaszám megfeleződik az ivarsejtek készítéséhez. A mitózis a sejtosztódásnak a testsejtek készítésekor alkalmazott, közönséges formája, amikor egy sejt valamennyi kromoszómája megkettőződik.

** Vagy bármi volt is ez a szám – bennünk 23.

kromoszómája is, és a kettő többé soha nem találkozott több mint 40 millió éve. Sokadik üklányának most is van egy bal oldali 5-ös és egy jobb oldali 5-ös kromoszómája. Bár mostanra összegyűjthettek némi mutációt, valamennyi bal kromoszóma azonosítható lenne egymással az ősanya bal 5-ös kromoszómájától örökölt hasonlóságok alapján.

A jelenlegi 360 Bdelloidea-faj mindegyike az ősanyától származik, és pontosan ugyanannyi idő választja el őket tőle, mint amennyi egymástól. Valamennyi faj valamennyi egyedének ma is minden kromoszómából van egy bal és egy jobb másolata, és az egyes vonalakon számos mutáció is történt, de a bal és a jobb oldal között soha nem játszódik le géncsere. Valamennyi bal és jobb pár minden egyedben sokkal inkább különbözik egymástól, mint amire számíthatnánk, ha akár csak némi szexuális tevékenységre sor került volna az ősanya napjaitól kezdve származástörténetük során. Talán eljő az idő, amikor többé fel sem lehet ismerni, hogy valaha párt alkottak.

De most tegyük fel, hogy összehasonlítunk két mai Bdelloidea kerekesféreg-fajt, mondjuk a *Philodina roseolát* és a *Machrotrachela quadricorniferát*. Mindkettő a Bdelloidea Philodinidae alcsoportjába tartozik, és természetesen van közös ősük, aki korántsem olyan régen élt, mint az ősanya. Szex nélkül pontosan ugyanannyi idő állt rendelkezésére mindkét faj valamennyi egyedben lévő „bal" és „jobb" kromoszómájának, hogy szétsodródjanak – vagyis az ősanya óta eltelt idő. A bal minden egyedben jelentősen különbözni fog a jobbtól. Ám ha a *Philodina roseola* bal 5-ös kromoszómát hasonlítjuk össze a *Machrotrachela quadricornifera* bal 5-ös kromoszómájával, eléggé hasonlónak kellene találnunk őket, mert nem volt még sok idejük arra, hogy elegendő független mutációt szedjenek össze. És a jobbosok összevetése ugyancsak kevés eltérést eredményez. Arra a figyelemre méltó következtetésre jutunk, hogy az egyedeken *belüli* hajdani páros kromoszómák összevetése nagyobb eltérést eredményez, mint ha a fajok között hasonlítjuk össze a „balt" a "ballal", a „jobbot" a „jobbal".* Szex mellett a következtetés éppen ellenkező lenne, alap-vetően azért, mert akkor a fajok között nem lenne olyan, hogy „bal" és „jobb", és rengeteg géncsere történne a kromoszómapárok között fajon belül.

* Minél több idő telt el az ősanya óta, annál nagyobb a különbség.

Mark Welch és Meselson ezeket az ellentétes következtetéseket használta annak az elméletnek a kipróbálására, hogy a Bdelloidea-fajok valóban igen hosszú ideje ivartalanul és hím nélkül szaporodnak – káprázatos sikerrel. Olyan szempontból vizsgálták meg a mai Bdelloidea-fajokat, hogy valóban igaz-e, hogy a páros kromoszómák (vagy a hajdan páros kromoszómák) valóban jobban eltérnek génről génre egymástól, mint amennyire „kellene", abban az esetben, ha a szexuális rekombináció összetartotta volna őket. Az összevetés ellenőrzésére olyan nem Bdelloidea kerekesférgeket is felhasználtak, amelyek szexuálisan szaporodnak. Igenlő választ kaptak. Vagyis a Bdelloidea kromoszómák sokkal inkább különböznek párjuktól, mint amennyire „kellene", mégpedig olyannyira, amely összhangban van azzal az elmélettel, mi szerint nem csupán 40 millió éve, azaz a mindeddig legkorábbról előkerült kerekesférget tartalmazó borostyán korában hagytak fel a szexszel, hanem mintegy 80 millió éve. Mark Welch és Meselson akkurátusan minden megtettek eredményeik esetleges más szempontú értelmezésének körüljárása érdekében, de ezek áttekintése túl messze vezetne, és szerintem igazuk van, amikor arra a következtetésre jutottak, hogy a Bdelloidea kerekesférgek valóban ősidőktől, folyamatosan, egye-

temesen és sikeresen ivartalanok. Szóval valóban evolúciós botránykövek. Talán vagy 80 millió éve virágoznak, olyat művelve ezzel, amit a kihalást megelőző rövidke időszakok kivételével semelyik másik állatfaj nem úszott meg szárazon.

Normális esetben miért számíthatnánk arra, hogy az ivartalan szaporodás kihaláshoz vezet? Nos, nagy kérdés ez, mert felér azzal a kérdéssel, hogy miért jó maga a szex – ez az a kérdés, amelynek nálam jobb tudósok szenteltek könyveket anélkül, hogy megválaszolták volna. Én megelégszem annak kimutatásával, hogy a Bdelloidea kerekesférgek paradoxont jelenthetnek a paradoxonban. Bizonyos értelemben olyanok, mint az a szakaszban menetelő katona, akinek az édesanyja így kiáltott föl: „Ott megy a fiam – ő az egyetlen, aki tartja a lépést." Maynard Smith nevezte őket evolúciós botránynak, de ő volt az is, aki leginkább felelős azért, hogy rámutatott, valójában maga a szex az, ami első pillantásra evolúciós botrány. Legalábbis a darwinista elmélet naiv felfogása jósolná azt, hogy a természetes szelekciónak komolyan rosszallnia kellene a szexet, amit az ivartalan szaporodásnak kétszeresen is felül kellene múlnia. Ebben az értelemben a Bdelloidea-fajok nemhogy botrányosak lennének, de ők tűnnek az egyetlen, lépést tartó katonának. Nézzük csak, miért!

A probléma az, amit Maynard Smith a szex kétszeres költségének nevezett. A mai darwinizmus arra számít, hogy az egyedek a lehető legtöbb génjük továbbadására törekszenek. Úgyhogy nem bolondság elhajítani fele génünket minden elkészült spermiummal, csak azért, hogy a maradék felet összekeverhessük valaki más génjeivel? Vajon nem boldogulna kétszer jobban egy mutáns nőivarú, aki a kerekesférceghez hasonlóan génjeinek 50 százaléka helyett mind a 100 százalékát továbbadja valamennyi utódjának?

Maynard Smith hozzátette, hogy az okfejtés összedől, ha a hím partner oly keményen dolgozik, vagy oly mértékben járul a gazdasági javakhoz, hogy a pár kétszer annyi utódot képes fölnevelni, mint egy ivartalan magánzó. Ez esetben a szex kétszeres költségét közömbösíti az utódok kétszeres száma. Az olyan fajoknál, mint például a császárpingvin, ahol a hím és a tojó körülbelül azonos mértékben járul hozzá a gyermeknevelés munka- és egyéb költségeihez, a szex kétszeres költsége eltűnik, vagy legalábbis mérséklődik. Az olyan fajoknál, ahol a gazdasági és munkahozzájárulások egyenlőtlenek, csaknem mindig az apa az, aki lóg, és energiáit inkább más hímek eltángálására fordítja. Ez megnöveli a szex költségeit, akár az eredeti okfejtés teljes kétszeresének megfelelő mértékű hátrányban is. Maynard Smith névváltozata, a hímek kétszeres költsége ezért vonzóbb. Ennek fényében – amelynek kibocsátásáért nagyrészt Maynard Smith felelős – nem a Bdelloidea kerekesférgek az evolúciós botránykövek, hanem az összes többi. Még pontosabban, a hím szex az evolúciós botrány. Attól eltekintve, hogy mégiscsak létezik, sőt az állatvilágban csaknem egyetemlegesen. Akkor hát mi történik itt? Ahogy Maynard Smith írta: „Az embernek az az érzése, hogy a helyzet valamely lényeges vonása elkerülte a figyelmét."

Maynard Smith, Williams, Hamilton és sok fiatalabb kolléga elméleteinek kiindulópontja a kétszeres költség. Az olyan hímek széles körű létezése, akik apaként a tartásdíjat sem keresik meg, nem jelenthet mást, mint hogy valóban igen fajsúlyos darwinista előnyei vannak magára a szexuális rekombinációra nézve. Számszerűleg nem túl nehéz elgondolni, mik lehetnek ezek, és sok egyéb előnyt is felvetettek, melyek némelyike nyilvánvaló, míg mások ezoterikusabbak. A gondot egy kellő

számszerű *nagyságrenddel* rendelkező előny elgondolása jelenti, hogy ellensúlyozza a jelentékeny kétszeres költséget.

Valamennyi elmélet elbírálása egy egész könyvet igényelne – és ez már meg is történt néhányszor, köztük Williams és Maynard Smith korábban már említett, megtermékenyítő műveit, valamint Graham Bell gyönyörűen megírt erőmutatványát, a *The Masterpiece of Nature*-t (A természet mesterműve). Mégsem született végleges ítélet. Matt Ridley szép könyve, a *The Red Queen* (A vörös királynő) nem a szakmai közönséget célozta meg. Bár Ridley egy elméletet részesít előnyben a kínálatból, W. D. Hamiltonét, miszerint a szex nem szűnő fegyverkezési verseny a parazitákkal szemben, azért magának a problémának kifejtésétől és a többi választól sem zárkózik el. Ami engem illet, sietősen Ridley és a többiek könyvére utalok, mielőtt rátérnék e mese fő céljára, ami nem más, mint hogy ráirányítsa a figyelmet a szex evolúciós feltalálásának kevéssé becsült *következményeire*. A szex hozta létre génkészletet, adott értelmet a fajoknak, és változtatta meg az egész evolúciós labdajátékot.

Gondoljuk csak el, mennyire mást kell hogy jelentsen az evolúció a Bdelloidea kerekesférgeknek. Gondoljuk csak el, a normál evolúciós mintától bizonyára mennyire eltérő evolúciós története van annak a 360 fajnak. A szexet növekvő változatosságként tárgyaljuk, ahogy bizonyos értelemben az is: ez az alapja a legtöbb arról szóló elméletnek, hogyan győzte le a szex saját kétszeres költségeit. Ám paradox módon a szexnek mintha lenne egy ellentétes hatása is. A szex normális esetben egyfajta gátat is szab az evolúciós változatosságnak. Ennek egy különleges esete volt az alapja Mark Welch és Meselson kutatásainak. Mondjuk egy egérpopulációban valamely új evolúciós vállalkozás irányába mutató minden kitörési tendenciát megfékez a szexuális keveredés elmocsarasító hatása. A potenciális vállalkozó divergens génjeit elborítja a génállomány többi, egyforma részének tehetetlen tömege. Ezért olyan fontos a földrajzi elszigetelődés a fajképződés számára. Egy hegygerinc vagy egy nehéz tengeri átkelés szükséges ahhoz, hogy egy újonnan kiemelkedett ágazat számára lehetővé váljon, hogy saját fejlődési útjára lépjen, anélkül hogy visszasüllyedne a tehetetlen átlag közé.

Gondoljunk csak bele, bizonyára mennyire más volt az evolúció a Bdelloidea kerekesférgek számára. Nemhogy visszahúzta volna őket a rendes génállomány, de *nincs* is génállományuk. Maga a génállomány fogalma sem értelmezhető szex nélkül.* A génállomány angol neve, a *gene pool* (géntó, génmedence) találó metafora, mert egy szexuális populáció génjei folyamatosan keverednek és szétáradnak, mintha folyadékban volnának. Hozzátéve az idődimenziót, a tó a geológiai időn átömlő folyóvá válik.** A szex kényszerítő hatása biztosítja a folyó korlátozó partjait, amelyek a fajokat valamilyen evolúciós irányba terelik. Szex nélkül nem lenne egységes mederbe terelt folyam, csupán alaktalan kifelé áramlás: és ez már nem annyira folyóra, mint inkább valamely kiindulópontból mindenfelé szétáradó illatra hasonlítana.

Természetes szelekció feltehetően a bdelloidok közt is zajlik, de ez bizonyára igencsak másfajta természetes kiválasztódás, mint amihez az állatvilág többi részén hozzászoktunk. Ahol a gének szexuálisan keverednek, a génállomány az az egység, amit a természetes kiválasztódás formába önt. A jó gének statisztikailag arra hajlanak, hogy segítsék a fennmaradásban azokat az egyedi testeket, amelyekben találhatók. A rossz gének inkább a halál felé segítik őket. A szexuálisan szaporodó állatoknál az egyes állatok halála és szaporodása alkotja a közvetlen szelekciós esemé-

* Az emberek olykor zavarólag génállományról beszélnek, amikor a genomra gondolnak. A genom valamely egyed génjeinek összessége. A génállomány egy szexuálisan szaporodó populáció valamennyi genomjában lévő gének összessége.

** Ezt a képet a *River out of Eden* (Folyam az Édenkertből) című könyvemben fejtettem ki.

nyeket, ám a hosszú távú következmény a génállományban lévő gének statisztikai összetételének módosulása. Így, mondom én, a génállomány az a tárgy, amelyre a darwinista szobrász figyelme irányul.

Mi több, a gének előnyben részesülnek a testépítésben más génekkel való együttműködési képességük miatt. A testek ezért olyan harmonikus túlélőgépek. A szex mellett ezt akkor szemléljük helyesen, ha úgy látjuk, hogy a gének folytonosan eltérő genetikai háttér mellett tétetnek próbára. Valamely gén minden generációval új társakból álló csapatba keveredik, vagyis azon többi gén közé, amikkel együtt osztoznak egy bizonyos testen egy meghatározott alkalommal. Azok a gének, amelyek jó társak, jól megférnek másokkal, és jól együttműködnek velük, általában a győztes csapatokban találhatók – vagyis olyan sikeres egyedi testekben, amelyek továbbadják őket az utódoknak. Azok a gének, amelyek nem jó együttműködők, hajlamosabbak a saját csapataikat a vesztesek közé juttatni – vagyis olyan sikertelen testeket alkotnak, amelyek elpusztulnak, mielőtt szaporodnának.

Abba a központi génkészletbe, amellyel valamely génnek együtt kell működnie, a vele egy testet alkotó gének tartoznak. Ám hosszú távon abba a génkészletbe, amellyel együtt kell működnie, a génállomány valamennyi génje beletartozik, mivel ezek azok, amelyekkel ismételten találkozik, amint egyik testből a másik testbe ugrál a nemzedékeken át. Ezért mondom azt, hogy egy faj génállománya az az egység, amelyet megformál a természetes kiválasztódás vésője. Összegezve, a természetes szelekció a teljes egyedek differenciált túlélése és szaporodása – azoké az egyedeké, akiket a génállomány annak mintájaként kidob, hogy mire képes. Még egyszer mondom, hogy mindebből semmi sem vonatkozik a Bdelloidea kerekesférgekre. Itt semmi olyasmiről nincs szó, mint a génállomány megformálása, mivel nincs megformálandó génállomány. Egy Bdelloidea kerekesféregnek csak egyetlen nagy génje van.

Amire az imént felhívtam a figyelmet, az a szex következménye, és nem a szex előnyeiről, vagy arról szóló elmélet, hogy először is miért jelent meg a szex. Ám ha valaha is megkísérelnék előállni a szex előnyeit taglaló elmélettel, ha valaha is komolyabb kísérletet tennék a „helyzet figyelemre nem méltatott, lényeges tulajdonságának" megrohamozására, valahonnan innét rugaszkodnék neki. És újra meg újra meghallgatnám a kerekesféreg meséjét. Ezek a parányi, homályos pocsolya- és mohos nyiroklakók tarthatják kézben az evolúció lényeges paradoxonját. Mi a gond az ivartalan szaporodással, ha a Bdelloidea kerekesférgek oly hosszú ideje boldogulnak vele? Vagy ha náluk ez beválik, miért nem követjük mi, többiek is a példájukat, és takarítjuk meg a szex kétszeres, súlyos költségeit?

A KACSLÁBÚ RÁK MESÉJE

Amikor bentlakásos iskolába jártam, alkalmanként mentegetőznünk kellett a gondnoknál a késésünk miatt: „Elnézést a késésért uram, zenekari próba volt", vagy akármi egyéb volt is a mentség. Azon alkalmakkor, amikor semmi jó mentségünk nem akadt, és valami rejtegetnivalónk volt, arra kaptunk rá, hogy az alábbi szöveget mormoljuk: „Elnézést a késésért, kacslábóránk volt." A gondnok mindig nyájasan bólintott, s én nem tudom, valaha is eltöprengett-e azon, vajon mi lehet ez a

titokzatos iskolán kívüli elfoglaltság. Elképzelhető, hogy Darwin példája ösztökélt bennünket, aki éveket áldozott a kacslábú rákokra, méghozzá olyan megszállottan, hogy gyermekei, amikor egyszer valami barátaik házában körbevezették őket, ártatlan zavarukban ezt kérdezték: „És hol tartja (apukátok) a kacslábú rákjait?" Nem biztos, hogy akkoriban ismertük a darwini történetet, és azt gyanítom, azért találtuk ki ezt az ürügyet, mert van valami a kacslábú rákokban, ami túl valószínűtlen ahhoz, hogy blöff legyen. A kacslábú rákok nem azok, aminek látszanak, és ez vonatkozik más állatokra is. Hát ez a kacslábú rák meséjének a témája.*

A kacslábú rákok (kacsakagylók, zacskórákok) minden látszat dacára rákok. A közönséges tengerimakkok (kacslábúrák-féle), amelyek úgy vonják be a sziklákat, mint parányi tapadókagylók, segítve cipőnket, hogy ne csússzon el, illetve felsértve lábunkat, ha nem viselünk cipőt, belsőleg egyáltalán nem olyanok, mint a tapadókagylók. A héjon belül eltorzult garnélarákok, amik háton fekve a levegőben kalimpálnak a lábaikkal. Lábaikon tollszerű fésűket vagy kosárkákat viselnek, amelyekkel kiszűrik a vízből a táplálékszemcséket. A kacsakagylók ugyanezt teszik, de nem egy kúpos héj alatt lapulnak, mint a tengerimakkok, hanem egy vaskos kocsány végén ülnek. A kacslábú rákok valódi természetük egy újabb félreértése révén kapták nevüket. Nedves „szűrő-tollaik" a tojásban lévő kismadár külsejét kölcsönzik nekik. Akkoriban, amikor az emberek a spontán nemzésben hittek, olyan néphit kapott szárnyra, hogy a kacsakagylók kacsaként – pontosabban apácalúdként *Branta leucopsis*ként – kelnek ki.

Talán valamennyi között a legcsalókábbak – valójában feltehetően az olyan állatok csúcstartói, amik távolról sem emlékeztetnek arra, aminek a zoológusok ismerik őket – az olyan parazita zacskórákok, mint a *Sacculina*. A *Sacculina* távolról sem az, aminek látszik. Ha nincs a lárvája, a zoológusok soha nem jöttek volna rá, hogy rák. A felnőtt egy puha zacskó, amely egy rák alsó felébe kapaszkodva hosszú, szétágazó, növényszerű gyökereket növeszt, amelyekkel kiszívja a tápanyagokat a rák szöveteiből. Az élősködő nemhogy kacslábú rákra, de egyáltalán semmiféle rákra nem hasonlít. Teljesen elveszítette a páncélborítás és a testi szelvényezettség valamennyi nyomát, amely csaknem minden ízeltlábúnál megvan. Akár egy élősködő növény vagy gomba is lehetne. Evolúciós rokonságát tekintve mégis rák, és azon belül is kacslábú rák. A kacslábú rákok valóban nem azok, mint aminek látszanak.



Nem az, aminek látszik
A *Sacculina carcini* kacslábúrák-féle tojásszerű képződménye egy *Carcinus maenas* tarisznyarákon.

Figyelemre méltó módon a *Sacculina* rendkívül nem rákszerű testének embriológiai fejlődését azon Hox-gének alapján kezdjük megérteni, amelyek *A gyümölcslégy meséjé*nek tárgyát képezték. Az *Abdominális-A*, amely normális esetben egy jellegzetes rák hasi fejlődését felügyeli, nem lép működésbe a *Sacculina*ban. Úgy néz ki, hogy pusztán azzal át lehet alakítani egy úszó, rugdalózó, lábas állatot egy alaktalan gombává, hogy elnyomjuk a Hox-géneket.

* A nagy tudós, J. B. S. Haldane állt elő egy teljesen más kacslábúrák-mesével, egy olyan parabolával, amelyben a filozofikus kacslábú rákok merengenek el a világukról. A valóság, vonják le a következtetést, mindaz, amit elérhetnek szűrőkarjaikkal. Homályosan tudatában vannak bizonyos „látomásoknak", de azok testi mivoltában kételkednek, a szikla különböző részein lévő kacslábú rákok nem értenek egyet távolságukat és alakjukat illetően. Ez Haldane meséjének bölcs allegóriája az emberi gondolkodás korlátjairól és a vallásos babonák megerősödéséről, s nem az enyém. Most az olvasó figyelmébe ajánlva továbbhaladok. A *Possible Worlds* (Lehetséges világok) kötet című tanulmányában található.

Egyébként a *Sacculina* elágazó gyökérrendszere nem válogatás nélkül támadja meg a rák szöveteit. Először a rák szaporítószerveire irányul, amivel kasztrálja a rákot. Véletlenszerű melléktermékről lenne szó? Talán nem. A kasztráció nem csupán termékteleníti a rákot. Mint valami hízott ökör, a kasztrált rák nem arra összpontosít, hogy egy vékony, középtermetű szaporodógép legyen, hanem arra fordítja erőforrásait, hogy minél nagyobbra nőjön: vagyis több tápláléka legyen a parazitának.*

Hogy belefogjunk e csoport utolsó meséjébe, íme, egy kis jövőbe ágyazott történet. Félmilliárd évvel azután, hogy a legnagyobbik üstökösbecsapódást követő pusztulásban megszűnt minden gerinces és ízeltlábú élet, az értelmes élet újra kialakul a polipok távoli leszármazottaiban. A polip paleontológusok a Kr. u. 21. századból származó gazdag kövületágyra bukkannak. Bár nem adja teljes keresztmetszetét a korabeli életnek, ez a pala gazdagságával és változatosságával mégis meglepi a paleontológusokat. A nyolckarú igazság mérlegén gondosan mérlegelve a kövületeket, és szakértelemmel kielemezve a részleteket, az egyik poliptudós nem röstelli fölvetni, hogy ebben a katasztrófa előtti, távoli korban az élet sokkal szertelenebbül tékozló volt változatosságban, mint ami valaha is megismétlődhetne, hiszen vidám kísérletező kedvvel vetett föl bizarr és csodálatos új testformákat. Beláthatjuk, mire céloz, ha állati kortársainkra gondolunk, és elképzeljük, hogy egy kis mintakészletük fosszilizálódik. Gondoljuk csak el, micsoda herkulesi feladattal néz szembe jövendő paleontológusunk, és érezzük át nehézségeit, amint megpróbálja a tökéletlen és szórványos kövületnyomok alapján feltárni kapcsolataikat.



Csak hogy egy példát hozzak: hova az ördögbe sorolnánk az alább, baloldalt látható állatot? Nyilván egy újabb „bizarr csoda", amely talán kiérdemelne egy tiszteletére elnevezett új törzset? Egy teljesen új, a zoológusok számára mindeddig ismeretlen Bauplan lenne?

Nos hát, nem. Hogy visszatérjünk a futurisztikus képzelődésből a jelenbe, ez a bizarr csoda valójában egy légy, a *Thaumatoxena andreinii*, amely a Phoridae (púposlégy-félék) minden szempontból tiszteletre méltó családjába tartozik, amiknek egy jellegzetesebb képviselőjét, a *Megaselia scalaris*t az alábbi képen láthatjuk.

Ami a *Thaumatoxená*val, a „bizarr csodával" történt, az nem más, mint hogy a termeszfészekben ütött tanyát. E zárt világ életfeltételei olyannyira mások, hogy – talán elég rövid idő alatt – elvesztette minden légyhez való hasonlóságát. Az a bumeráng alakú első rész maradt a fejből. Aztán jön a tor, és láthatjuk, mint ékelődnek be a szárny maradványai a tor és a potroh közé, amely nem más, mint a szőrös hátsó rész.



A tanulság megegyezik a kacslábú rákéval. Ám a jövő paleontológusát illető tanmese, akit megkísértett a formák terében vidáman tobzódó bizarr csodák retorikája, nem fölösleges kitérő volt. Bemelegítésnek szántam a következő meséhez, amely teljes egészében a Kambriumi Robbanásról szól.

* *The Extended Phenotype* (magyarul: A hóditó gén) című könyvem élősködőkről szóló fejezetében érintettem a gazdaszervezeteik belső működését finoman befolyásoló élősködők efféle eseteit.

Bizarr csoda? Egy teljesen új Bauplan?
Egy nőstény *Thaumatoxena andreinii*. Henry Disney rajza.

Hogy kellene kinéznie egy légynek?
Púposlégy, *Megaselia scalaris* (Loew). Arthur Smith rajza.

A BÁRSONYFÉREG MESÉJE

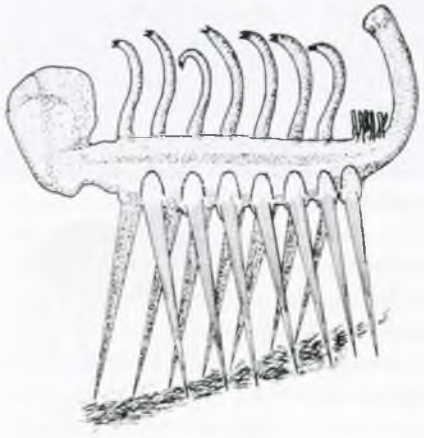
Ha a modern zoológia elismer valami olyasmit, ami megközelíti egy valóságos teremtésmítosz fogalmát, akkor az a Kambriumi Robbanás. A kambrium az utóbbi 545 millió évet felölelő fanerozoikum első időszaka, amikor a ma ismert állati és növényi élet hirtelen kövületekben is megnyilvánult. A kambrium előtti kövületek vagy parányi nyomok, vagy rejtélyes titkok voltak. A kambriumtól kezdve a soksejtű élet zajos sereglete többé-kevésbé követhető módon előrevetíti a mi életünket. A soksejtű kövületek megjelenésének hirtelensége az, amely a robbanás metaforát előhívta.

A teremtéshívők imádják a Kambriumi Robbanást, mivel gondosan elszegényített képzeletük számára mintha valamiféle paleontológiai árvaház képzetét idézné, amit szülők nélküli törzsek laknak: ősök nélküli állatok, mintha egyik napról a másikra hirtelen öltöttek volna testet a semmiből, készen, lyukas zokniban.* A másik szélen a romantikusan felfűtött zoológusok is imádják a Kambriumi Robbanás „árkádiai álomidejét", a zoológiai ártatlanság e korát, amikor az élet eszelős és gyökeresen más evolúciós tempójú táncba csapott: a szökdécselő improvizáció eme bűnbeesés előtti bacchanáliájába, mielőtt belezökkent volna az azóta uralkodó, komoly haszonelvűségbe. A *Szivárványbontás*ban idéztem egy jeles biológus alábbi szavait, aki azóta talán már meggondolta magát:

* Bertrand Russell, természetesen

> Nem sokkal azután, hogy kialakultak a többsejtű formák, az evolúciós újdonságok félelmetes kitörésére került sor. Az embernek szinte az az érzése támad, hogy a többsejtű élet ujjongó jókedvvel veti rá magát minden lehetséges elágazásra, a vakmerő felfedezés egyfajta vad táncában. *(Szivárványbontás*. Vince Kiadó, 2001, *Kertész Balázs fordítása)*

Ha egyáltalán akad olyan állat, amely a többinél inkább alátámasztja a kambrium e lázas látomását, akkor az a *Hallucigenia*. Alátámasztja? A hallucinációktól eltekintve aligha gyanítanánk, hogy egy ilyen valószerűtlen lény egyáltalán elbírta magát az életben. És igazunk lenne. Úgy tűnik, a *Hallucigeniát* – márpedig Simon Conway Morris megfontoltan választotta ezt a nevet – eredetileg fordítva rekonstruálták. Ezért áll azokon a lehetetlen fogpiszkáló gólyalábakon. Az újabb, fordított értelmezés szerint a hátán sorba rendeződő „csápok" voltak a lábai. Egyetlen sorban álló lábak? Talán kötélen egyensúlyozott? Nem. Kínában felfedezett új kövületek egy második sorra is utalnak, így a modern rekonstrukciókon már úgy fest, mint ami akár ebben a világban is otthon lehetett, és fennmaradhatott. A *Hallucigeniát* már nem sorolják a bizonytalan és talán rég elenyészett rokoni szálakkal rendelkező „bizarr csodák" közé. Ehelyett sok más kambriumi kövülettel együtt, próbaképpen a Lobopodiák (lebenyes ál-



A KAMBRIUM LÁZAS LÁTOMÁSA
A fordítva rekonstruált *Hallucigenia*



Akár ebben a világban is otthon lehetett
A *Hallucigenia fortis* kövülete a dél-kínai Csengcsiangból.



Hallucigenia – egy modern rekonstrukció

lábúak) között kapott helyet, amiknek mai képviselőivel, a *Peripatus*szal és a többi „karmossal" vagy „bársonyféreggel" a 26. találkozáson futottunk össze.

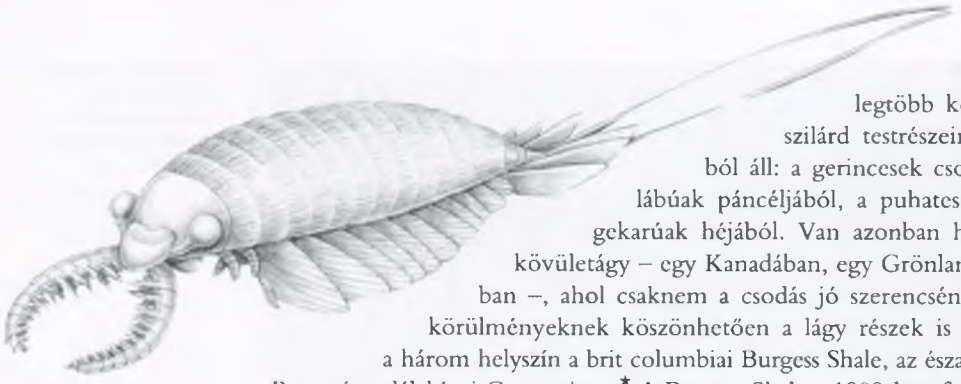
Akkoriban, amikor a gyűrűsférgeket az ízeltlábúak közeli rokonainak tekintették, a karmosokra (Onychophora) gyakran hivatkoztak „közvetítőként", mint amik „áthidalják a köztük lévő szakadékot", jóllehet ez a felfogás nem túl szerencsés, ha belegondolunk az evolúció működésébe. A gyűrűsférgeket ma a Lophotrochozoák közé, míg az Onychophorákat az ízeltlábúakkal együtt az Ecdysozoák közé helyezik. A *Peripatus* ősi rokonsága révén éppen alkalmas helyen van a mai zarándokok között ahhoz, hogy elmondja a Kambriumi Robbanás meséjét.

A mai Onychophorák széles körben elterjedtek a trópusokon, különösen a déli félteként. Az alábbi képen bemutatott példány, a *Peripatopsis moseleyi* Dél-Afrikából való. Valamennyi mai karmos szárazföldlakó avarban és nedves helyeken él, ahol csigákra, férgekre, rovarokra és egyéb kis zsákmányállatokra vadászik. A kambriumban természetesen a *Hallucigenia*, a *Peripatus* és a *Peripatopsis* távoli elődei – mindenki mással együtt – a tengerben élt.

A *Hallucigenia* kapcsolata a mai karmosokkal még mindig vitatott, és jusson eszünkbe, mennyi képzelőerő szükségeltetik egy kőzet elmosódó és összenyomott kövülete és az ebből kiszűrt, a lapon gyakran élénk színekben feltűnő rekonstrukció közé. Még az is felvetődött, hogy a *Hallucigenia* talán nem is egész állat volt, hanem csak egy ismeretlen állat valamely testrésze. Nem ez lenne az első alkalom, hogy ilyen hibát követtek el. A kambriumi táj némely korai művészi rekonstrukcióján feltűnik egy úszó, medúzaszerű lény, amelyet láthatólag az ananászbefőttkarikák ihlettek, s amelyről kiderült, hogy az *Anomalocaris* nevű, titokzatos ragadozó állkapocskészletéhez tartozott. Más kambriumi kövületek, így például az *Aysheaia*, egyértelműen a *Peripatus* tengeri változatának tűnik, és ez megerősíti a *Peripatus* jogát ahhoz, hogy elmondja ezt a kambriumi mesét.



Bársonyféreg
Egy mai Onychophora-faj, a *Peripatopsis moseleyi*

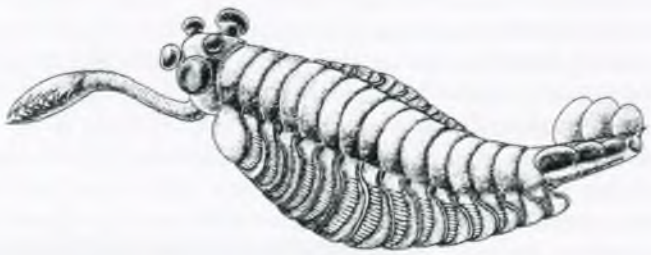


Kilóg a zoológiai sorból? *Anomalocaris saron* Csengcsiangból

Valamely korszak legtöbb kövülete az állatok szilárd testrészeinek maradványaiból áll: a gerincesek csontjaiból, az ízeltlábúak páncéljából, a puhatestűek vagy a pörgekarúak héjából. Van azonban három kambriumi kövületágy – egy Kanadában, egy Grönlandon és egy Kínában –, ahol csaknem a csodás jó szerencsének és a szeszélyes körülményeknek köszönhetően a lágy részek is megmaradtak. Ez a három helyszín a brit columbiai Burgess Shale, az észak-grönlandi Sirius Passet és a dél-kínai Csengcsiang.* A Burgess Shale-t 1909-ben fedezték föl, de csak 80 évvel később, Stephen Gould *Wonderful Life* (Csodálatos élet) című könyve tette híressé. Az észak-grönlandi Sirius Passet lelőhelyet 1984-ben fedezték fel, de még kevésbé tanulmányozták, mint a másik kettőt. A csengcsiangi kövületeket ugyanebben az évben fedezte fel Hou Xian-guang. Dr. Hou az egyik szerzője annak a gyönyörűen illusztrált monográfiának, amely *The Cambrian Fossils of Chengjiang, China* (A kínai Csengcsiang kambriumi kövületei) címmel 2004-ben, szerencsémre éppen e könyv nyomdába kerülése előtt jelent meg.

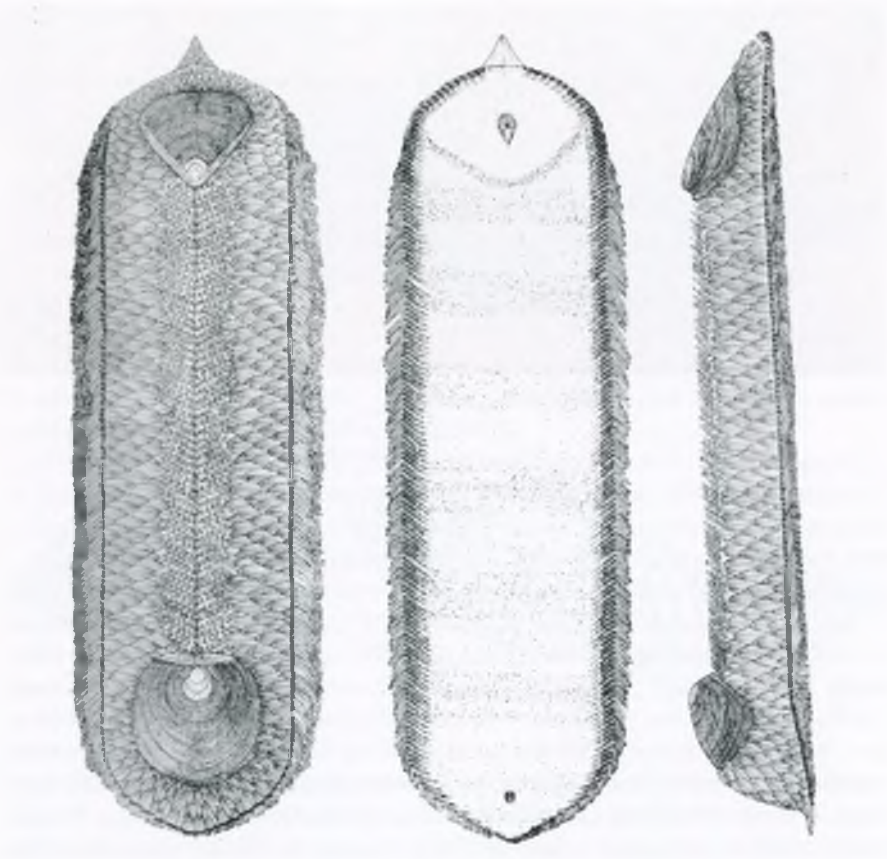
* A negyedik lelőhely, a svédországi Orsten ('büdös kő') a lágy részeket másként őrizte meg.

A csengcsiangi kövületeket ma 525 millió évesnek tartják. Ezzel durván egyidősek a Sirius Passettel, és mintegy 10–15 millió évvel öregebbek a Burgess Shale-nél, ám e kiemelkedő kövületlelőhelyeknek hasonló a faunája. Rengeteg a lebenyes állábas (Lobopoda), és sokuk nagyjából úgy néz ki, mint a *Peripatus* tengeri változata. Vannak algák, szivacsok, különféle férgek, pörgekarúak, amelyek nagyjából a maiakra hasonlítanak, és bizonytalan rokonságú, titokzatos állatok. Rengeteg az ízeltlábú, köztük rákok, trilobiták és sok egyéb, amelyek távolról a rákokra és a trilobitákra ütnek, de lehetséges, hogy saját, meglehetősen elkülönült csoportjaikba tartoztak. A hatalmas (némely esetben egy méternél is nagyobb), szemmel láthatóan ragadozó *Anomalocaris* és rokonai Csengcsiangban és Burgess Shale-ben is előkerültek. Senki sem tudja igazán, mik voltak ezek – talán az ízeltlábúak távoli rokonai –, de bizonyára látványosan festettek. A Burgess Shale nem minden „bizarr csodáját" találták meg egyúttal Csengcsiangban is, így például az ötszemű *Opabiniát* sem.



A híres ötszemű *Opabinia regalis* a kanadai Burgess Shale-ből. Marianne Collins rajza.

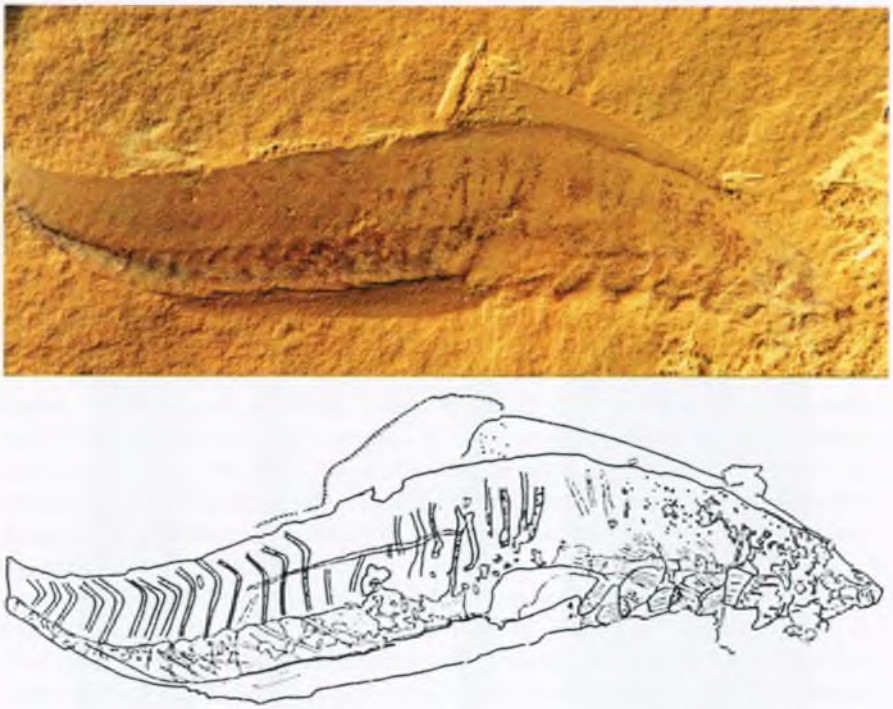
A grönlandi Sirius Passet faunában található egy gyönyörű állat, a *Halkieria*. Korai puhatestűnek tartották, de Simon Conway Morris, aki sok különös kambriumi lényt írt le, úgy véli, három törzzsel is a rokonságot mutat: a puhatestűekkel, a pörgekarúakkal és a gyűrűsférgekkel. Ez örömmel tölti el a szívemet, mert segít letörni azt a csaknem misztikus tiszteletet, amellyel a zoológusok a nagy törzseket



Lerombolja a nagy törzsek misztikus tiszteletét
Az alsó kambriumból származó *Halkieria evangelista* a grönlandi Sirius Passetből. Simon Conway Morris rajza.

övezik. Ha evolúciónkat komolyan vesszük, a dolognak úgy kell állnia, hogy amint haladunk visszafelé az időben, és közeledünk találkozóhelyeik felé, annál inkább hasonlítanak egymásra, és annál közelebbi rokonok. Akár beleillik a *Halkieria* a képbe, akár nem, aggasztó lenne, ha *nem* volna olyan ősi állat, amely egyesítené a gyűrűsférgeket, a pörgekarúakat és a puhatestűeket. Figyeljük csak meg a fenti rajzon a mindkét végen található héjakat.

Mint a 22. találkozáson láttuk, a valódi gerincesnek tűnő csengcsiangi kövületek kora megelőzi a Burgess Shale lándzsahalszerű *Pikaia*-ét és egyéb kambriumi gerinchúrosokét. A hagyományos zoológiai okfejtés soha nem helyezte a gerincesek felemelkedését ilyen korára. A *Myllokunmingia*, amelyből több mint 500 példányt tártak fel Csengcsiangban, megközelítőleg úgy néz ki, mint egy derék állkapocs nélküli hal, amelyről korábban úgy tartották, hogy 50 millió évvel későbbi időszakig, a középső ordovíciumig nem jött létre. Először két új nemet írtak le – a *Myllokunmingiát*, amely leírása szerint viszonylag közel állt az ingolához, valamint a *Haikouichthyst* (sajnos nem a japán versforma után nevezték el), amelyről úgy vélik, orsóhalszerű vonásai voltak. Némely revizionista taxonómus újabban a kettőt egy fajba helyezi, a *Myllokunmingia fengjiaoa*ba. A *Haikouichthys* státusának eme ellentmondásos módosítgatása önmagáért beszél, jelezve, milyen nehéz a rendkívül



Nem feltételezték, hogy a gerincesek ilyen régiek *Myllokunmingia fengjiaoa*-kövület, Csengcsiang. D-G. Shu et al. alapján [264].

régi kövületek részleteinek kiértékelése. Fentebb egy *Myllokunmingia*-kövület fényképe látható, alatta pedig egy átvilágító kamera segítségével készült rajza. Egyszerűen csodálom a türelmet, amely az ehhez hasonló ősi állatok rekonstruálásához szükséges.

A gerincesek visszatolása a kambrium közepére csak megerősíti a mítosz alapját képező hirtelen robbanás elméletét. Valóban úgy tűnik, hogy a legtöbb mai fő állattörzs kövület formában a kambriumon belüli szűk időszakban bukkan föl először. Ez azonban nem azt jelenti, hogy a kambrium előtt ezeknek a törzseknek nem volt képviselője, csak többnyire nem fosszilizálódtak. Hogyan magyarázzuk ezt? Három fő elmélet különböző kombinációit különböztethetjük meg, nagyjából az emlősöknek a dinoszauruszok kihalását követő robbanásáról szőtt három elmélethez hasonlóan.

Nincs valódi robbanás. E nézet szerint csupán a fosszilizálódhatóság terén, és nem a tényleges evolúcióban volt robbanás. A törzsek valójában jóval megelőzik a kambriumot, olyan köz-ősökkel, amik százmillió éveket fogtak át a prekambriumban. Ezt a nézetet támogatja néhány molekuláris biológus, akik a molekuláris óra technika segítségével határozták meg a köz-ősök korát. Például G. A. Wray, J. S. Levinton és L. H. Shapiro híres 1996-os tanulmányukban úgy becsülték, hogy a gerinceseket a tüskésbőrűekkel egyesítő köz-ős körülbelül egymilliárd éve élt, továbbá a gerinceseket a puhatestűekkel összekötő köz-ős ennél még 200 millió évvel korábban, ami több mint kétszerese az úgynevezett Kambriumi Robbanás korának. A molekuláris órás becslések általában hajlanak arra, hogy ezeket a mély elágazá-

sokat jóval hátrébb tolják a prekambriumba, jóval távolabb annál, mint ami a paleontológusok többségét örömmel töltené el. Ezen elmélet szerint a kövületek valami oknál fogva a kambrium előtt nem egykönnyen képződtek. Talán nem voltak olyan fosszilizálódó kemény részeik, mint például a héj, a páncél vagy a csont. Mindenesetre Burgess Shale és Csengcsiang kövületágyai abban egyedülállóak valamennyi geológiai réteg közül, hogy kövületként megőrizték a lágy részeket is. Lehetséges, hogy a prekambriumi állatok – bár sokféle összetett testformát öltve már régóta léteztek – egyszerűen túl kicsik voltak a fosszilizálódáshoz. Ezt a feltevést támogatja az is, hogy van néhány kisebb állattörzs, amely egyáltalán nem hagyott kövületnyomokat a kambrium után, míg fel nem bukkannak ma mint holmi eleven „árvák". Akkor hát, miért volna jogunk arra, hogy kövületekre számítsunk a kambrium előtt? Mindenesetre néhány eddig talált prekambriumi kövület, köztük az ediacarai fauna (lásd 371. oldal), valamint a járatok és üregek kövületei a valódi prekambriumi többsejtűek jelenlétére utalnak.

Közepes erősségű robbanás. A különböző törzseket egyesítő köz-ősök valóban eléggé közel éltek egymáshoz időben, de azért több tízmillió évvel a kövületek megfigyelt robbanása előtti időre nyúlnak vissza. A jelentől való hatalmas távolságból Csengcsiang a maga 525 millió évével első látásra viszonylag közelinek tűnik egy, mondjuk 590 millió éve élt vélelmezett köz-őshöz. Ám így is nem kevesebb mint 65 millió év választja el őket, ami megegyezik a dinoszauruszok kihalása óta máig eltelt idővel – mialatt a mai emlősök újra és újra kiáradtak, míg ki nem alakult a ma látható látványos változatosság. *A galápagosi pinty* és *A bölcsőszájú hal meséi*ben taglalt rendkívül gyors evolúciós kitörések fényében még 10 millió év is hosszú idő. Utólagos okoskodással túlságosan is könnyű arra gondolni, hogy mivel két őskövületet két különböző mai törzshöz tartozónak vélünk, ezért annak a két kövületnek is annyira kellett különbözniük egymástól, mint amennyire a két törzs mai képviselői különböznek egymástól. Könnyű elfeledni, hogy mai képviselőiknek félmilliárd év állt rendelkezésre a változásra. Nincs semmi okunk azt hinni, hogy egy 500 millió évnyi zoológiai tudásanyagtól áldásosan mentes, kambriumi taxonómus a két kövületet külön törzsekbe sorolná. Meglehet, csupán külön rendekbe osztaná be őket, azon – akkoriban még nem ismeretes – tény ellenére, hogy utódaiknak az a sorsa, hogy végül számukra külön törzsi státust szavatoló mértékben eltávolodjanak egymástól.

Hirtelen robbanás. Ez a harmadik felfogás nézetem szerint buggyantság. Vagy hogy udvariasabb kifejezéssel éljek, vadul és felelőtlenül valótlan. Mégis némi időt kell szentelnem neki, mert újabban, az általam a romantikusan túlfűtött zoológusoknak tulajdonított retorikát követve, érthetetlen módon népszerű.

E harmadik iskola szerint az új törzsek egyik napról a másikra, egyetlen makromutációs ugrással ugrottak a létbe. Íme, néhány, a *Szivárványbontás*ban már felhasznált idézet egyébként tiszteletre méltó tudósok tollából:

> Mintha a kambriumi időszak végére valamelyest csökkent volna a készség a jelentős funkcionális újdonságokat – az új törzsek alapjait – létrehozó evolúciós ugrásokra. Mintha az evolúció hajtóereje veszített volna az erejéből. ... Így tehát a kambriumi szerveztek nagyobb ugrásokat tehettek meg, beleértve a törzsi szintű szökkenéseket, míg az evolúció később inkább szerényebb, osztályszintet átívelő ugrások megtételére korlátozódott. *(Szivárványbontás*, Vince Kiadó, 2001, 206. o. *Kertész Balázs fordítása)*

Vagy íme, egy idézet ugyanattól a neves tudóstól, akiről már hallottunk a mese elején:

> Sokféle olyan nagy ugrású mutációt találunk az elágazási folyamat elején, amelyek egészen alapvetően különböznek a törzstől és egymástól. Ezek a fajok elegendő morfológiai különbözőséget mutatnak ahhoz, hogy eltérő törzsek alapítóiként osztályozzuk őket. Ezek az alapítók ugyancsak elágaznak, de immár valamivel közelebbi, ugrásszerűen megjelenő változatokon át, így hoznak az egyes törzsek alapítóitól különböző leányfaj-ágakat, amelyek viszont az osztályok alapítói. A folyamat során a rátermettebb variációk egymás egyre közelebbi szomszédságában találhatók, tehát egymást követően jelennek meg a rendek, a családok és a nemzetségek alapítói. *(Szivárványbontás.* Vince Kiadó, 2001, 205. o. *Kertész Balázs fordítása)*

Ezek az idézetek késztettek arra a visszavágásra, hogy olyan ez, mintha a kertész egy öreg tölgyfa szemlélése közben eltűnődve jegyezné meg:

> Hát nem különös, már évek óta nem hajtott új fő́ágakat ez a fa. Manapság a gallyak szintjén mutatkozik minden új hajtás.

Van itt egy másik idézet is, amely a *Szivárványbontás*t követően jelent meg, és ezért korábban nem használhattam. Andrew Parker *In the Blink of an Eye* (Egy szempillantás alatt) című műve főként azt az érdekes és eredeti elméletét bizonygatja, miszerint a Kambriumi Robbanást az váltotta ki, hogy az állatok hirtelen felfedezték a szemet. Ám mielőtt magára a tárgyra térne, Parker azzal kezdi, hogy szőröstülbőröstül felkarolja a Kambriumi Robbanás mítoszának „vad és felelőtlen" változatát. Először is az általam valaha is olvasott legnyíltabban „robbanékony" változatban magát a mítoszt fejti ki:

> 544 millió éve valóban három, változatos külalakú állattörzs létezett, ám 538 millió évvel ezelőtt 38 volt, ugyanannyi, mint ma.

Továbbmenve tisztázza, hogy nem egy hatmilliós időszakba összepréselt rendkívül gyors, fokozatos evolúcióról beszél, ami a 2. elmélet szélsőséges, de még éppen elfogadható változata volna. Még csak nem is azt mondja, amit én mondanék, hogy egypár törzs (mármint aminek az volt a sorsa, hogy törzzsé váljon) tagjai elkülönülésük kezdetén nem lehettek túlzottan különbözők – majd átestek a fajjá, majd a nemmé válás és a többi változás egymást követő fokozatain, amíg végül elkülönülésük ki nem érdemelte a törzsi szintű elismerést. Nem. Parker minden látható jel szerint 38 törzsét 538 millió évvel ezelőtt teljesen kifejlett törzseknek tekinti, amelyek egyik napról a másikra szökkentek szárba, egy szempillantás alatt végbemenő makromutáció nyomán.

> 38 állattörzs alakult ki a Földön. Úgyhogy csupán 38 monumentális genetikai eseményre került sor, amelyek 38 különböző belső szervezetet eredményeztek.

A monumentális genetikai események nem teljesen képtelenségek. A különböző Hox családok szabályzó génjei, amelyekkel *A gyümölcslégy meséjé*ben találkoztunk, minden bizonnyal képesek drámai módon mutálódni. Ám itt minden monumentális. Egy gyümölcslégy egy pár lábbal ott, ahol a csápoknak kellene lenni, körülbelül éppen annyira monumentális, amennyire csak lehet, ám ettől még a túlélése fölött jókora kérdőjel lebeg. Hathatós általános oka van ennek, amit röviden elmagyarázok.

Egy mutáns állat új mutációja következtében bizonyos valószínűséggel jobb helyzetben van. A „jobb helyzetben van" a mutáció előtti szülői típushoz képest jelent jobb helyzetet. A szülőnek legalábbis elegendő mértékben jónak kellett lennie a túléléshez és a szaporodáshoz, különben nem lehetne szülő. Könnyű belátni, hogy minél kisebb a mutáció, annál nagyobb valószínűséggel jelent javulást. A „könnyű belátni" volt a nagy statisztikus és biológus R. A. Fisher kedvenc szófordulata, aki időnként olyankor is elsütötte, amikor a közönséges földi halandó számára a belátás minden volt, csak éppen könnyű nem. Ebben az esetben azonban szerintem valóban könnyű követni Fisher érveit az egyszerű számszerű tulajdonságok esetében – olyasmiről van szó, mint a combhosszúság, amely egy dimenzióban változhat: néhány milliméterrel nőhet hosszabbra vagy rövidebbre.

Képzeljünk egy sor növekvő nagyságrendű mutációt. Egyfelől a nulla nagyságrendű mutáció magától értetődően éppen olyan jó, mint a gén szülői példánya, amelynek, mint láttuk, legalább elég jónak kellett lennie a gyerekkor túléléséhez és a szaporodáshoz. Most képzeljünk el egy kis nagyságrendű mutációt, mondjuk azt, hogy a láb egy milliméterrel hosszabb vagy rövidebb lesz. Feltételezve, hogy a szülői gén nem tökéletes, a szülői változattól elenyészően különböző mutációnak 50 százalék esélye van arra, hogy jobb, és 50 százalék arra, hogy rosszabb legyen: jobb, ha a megfelelő irányba jelent lépést, rosszabb, ha az ellenkező irányba lép, a szülői helyzet függvényében. Ám egy igen nagy mutáció feltehetően rosszabb lesz a szülői változatnál, *még akkor is, ha a helyes irányba tett lépésről van szó,* mert túllő a célon. Szélső esetben képzeljünk el egy különben normális embert, akinek kétméteres a combja.

Fisher érvelése ennél általánosabb volt. Amikor egy új törzs területére ugrásról beszélünk, nem a lábhosszhoz hasonló, egyszerű számszerű tulajdonságról van többé már szó, és így az érvelés másik változatára van szükségünk. A lényeges pont az, hogy miként már kifejtettem, sokkal több módon lehetünk holtak, mint élők. Képzeljük el az összes lehetséges állat matematikai térképét. Matematikainak kell neveznem, mert dimenziók százait ábrázoló térkép ez, amely a csaknem végtelenül sokféle, elképzelhető óriás alakzatoktól a viszonylag kisszámú valaha élt állatot is magában foglalja. Az, amit Parker „monumentális genetikai eseménynek" nevezett, egy nagy hatású makromutációnak felelhet meg, amely nemcsak egy dimenzióban éreztette a hatását, mint a comb-példánk, hanem dimenziók százaiban egyidejűleg. Ez a mérete annak a fajta változásnak, amelyről beszélünk, ha Parkerhez hasonlóan elképzelünk egy hirtelen és azonnali változást egyik törzsből a másikba.

Az összes lehetséges állat sokdimenziós térképén az élőlények az életképesség szigetei, amelyeket a torz alaktalanság óceánjai választanak el más szigetektől. Bármely szigetről kiindulva csak lépésenként távolodhatunk el tőle: itt megnyújtva egy lábat, ott lefaragva egy szarv végét, vagy elsötétítve egy tollat. Az evolúció egy, a sokdimenziós téren átívelő pályagörbe, amelyen az út minden lépése meg kell hogy feleljen egy legalább annyira túlélésre és szaporodásra képes testnek, mint amit a szülői típus elért a pályagörbén megtett korábbi lépéssel. Elegendően hosszú idő mellett egy életképes kezdőpontból kiinduló, kellően hosszú pályagörbe egy olyan távoli életképes célpontba ér, amelyet egy másik törzsként, mondjuk puhatestűként ismerünk el. És egy másik, ugyanabból a pontból kiinduló lépésenkénti pályagörbe folyamatos, életképes közbenső állomásokon át egy másik életképes célpontba vezet, amelyet ismét másik törzsként, mondjuk gyűrűsférgekként ismerünk el. Bizo-

nyára valami hasonló történt a nekik megfelelő köz-ősöktől az egyes állattörzs párokhoz vezető elágazások mentén.

A következőre kívánok kilyukadni. Egyetlen csapással új törzset elindító, kellő nagyságrendű véletlenszerű változás sok száz dimenzióban oly nagymérvű lesz egyidejűleg, hogy észbontó szerencse kéne ahhoz, hogy az életképesség egy másik szigetén kössön ki. Egy ilyen nagyságrendű megamutáció csaknem elkerülhetetlenül az életképtelenség óceánjának kellős közepén végzi: állatként talán egyáltalán föl sem ismerhető.

A teremtéshívők a darwinista természetes kiválasztást botor módon egy roncstelepen végigsöprő hurrikánhoz hasonlítják, amely szerencsésen összerak egy Boeing 747-est. Természetesen tévesen, hiszen teljesen eltekintenek a természetes kiválasztás fokozatos, felhalmozó jellegétől. Ám a roncstelep-metafora tökéletesen illik egy új törzs máról holnapra történő feltalálására. Egy ugyanolyan nagyságrendű evolúciós lépéshez – mint mondjuk a máról holnapra történő átmenet a földigilisztától a csigáig – legalább annyi szerencse szükségeltetik, mint a roncstelepi hurrikánnak.

Eszerint tehát teljes bizonysággal elvethetjük a harmadik hipotézisünket, a bugygyantságot. Marad a másik kettő, vagy azok valamilyen kompromisszuma, és itt a kétely és a több adat iránti vágy uralkodik el rajtam. Mint majd meglátjuk az e meséhez fűzött utóhangból, egyre inkább elfogadottnak tűnik, hogy a molekuláris órára alapozott korai becslések túloztak, amikor a fő elágazási pontokat százmillió évekkel korábbra helyezték a prekambriumban. Másfelől pusztán az a tény, hogy a kambrium előtti időből kevés állattörzs kövületeit találták meg, ha találtak egyáltalán, nem kell, hogy olyan feltételezésbe hajszoljon bennünket, miszerint ezek a törzsek bizonyára rendkívül gyorsan alakultak ki. A roncstelepi hurrikánnal szembeni érvelésből megtudjuk, hogy mindazon kambriumi kövületeknek nyilván folyamatosan fejlődő elődeik voltak. Ezeknek az elődöknek jelen kellett lenniük, csak nem fedeztük föl őket. Bármi is az oka, és bármekkora is az időköz, nem sikerült fosszilizálódniuk, de ott kellett lenniük. Első pillantásra nehezebb elhinni, hogy egy egész sereg állat láthatatlan maradhatott 100 millió évig, mint azt, hogy csak 10 millió évig maradt láthatatlan. Emiatt némelyek előnyben részesítik a rövid gyújtózsinóros Kambriumi Robbanás elméletet. Másfelől, minél rövidebbre vágjuk a gyújtózsinórt, annál nehezebb elhinni, hogy mindazt a változatosságot bele lehetne sűríteni a rendelkezésre álló időbe. Szóval ez az érvelés kétélű, és nem feltétlenül dönt a két megmaradt elmélet között.

A kövülettárból nem teljesen hiányzik a metazoa élet a csengcsiangi és a Sirius Passet-i előtti korból. 20 millió évvel korábban, pontosan a kambrium/prekambrium határon kezdenek megjelenni azok a sokféle mikroszkopikus kövületek, amelyek parányi kagylókra hasonlítanak – ezek összességét nevezik „kishéjas faunának". A legtöbb paleontológust meglepte, amikor ezek némelyikét páncéllemezes Lobopodaként – a bársonyférgek rokonaiként – azonosították. Ez azt jelenti, hogy az őszájúak különböző csoportjai közti eltérésnek mindenféle látható „robbanás" előtt, már a prekambriumban meg *kellett* jelennie.

Az állati sokféleségnek még régebbi nyomai is vannak. Húsz millió évvel korábban a kambrium kezdeténél, a késői prekambrium ediacarai korszakában világszerte virágzott egy titokzatos állatcsoport, az első lelőhelyükről, a dél-ausztráliai Ediacara-hegyekről elnevezett ediacarai fauna. Többségükről nehéz kideríteni, mik is

voltak valójában, de az elsőként fosszilizálódó nagy állatok közé tartoztak. Némelyikük talán szivacs. Mások kicsit a medúzákra hasonlítanak. Mások a tengerirózsára vagy tengeri tollkorallra (a tengeri virágállatok tollszerű rokonai) emlékeztetnek. Némelyek féreg-, vagy meztelencsiga-szerűek, és elképzelhető, hogy valódi Bilateriákat képviselnek. Ismét mások egyszerűen titokzatosak. Vajon mihez kezdjük ezzel a teremtménnyel, a *Dickinsoniával*? Korall lenne? Vagy féreg? Netán gomba? Vagy minden mai túlélőtől teljesen eltérő valami? Előkerült egy hivatalosan még le nem írt, ebihalszerű kövület is Ausztráliából, amiről azt gyanítják, hogy gerinchúros volt (emlékezzünk, ebbe a törzsbe tartoznak a gerincesek). Ha ez igaznak bizonyul, az roppant izgalmas lenne, de egyelőre várjunk, és figyeljünk. E szívfájdító előjelek ellenére a zoológusok közti megegyezés az, hogy az ediacarai fauna, bármennyire érdekes is, nem igazán segíti semmilyen irányban a legtöbb mai állat eredetének a nyomon követését.

Vannak olyan kövületlenyomatok is, amelyek prekambriumi állatok járatainak vagy üregeinek tűnnek. Ezek a nyomok a készítésükhöz kellő mérettel rendelkező csúszómászók korai létéről beszélnek. Sajnos arról nem sokat árulnak el, hogyan néztek ki ezek az állatok. Akad néhány még ennél is korábbi, többnyire mikroszkopikus kövület, amelyekre a kínai Dusantuban bukkantak. Ezek embrióknak tűnnek, bár az nem világos, miféle állattá fejlődtek volna. Északnyugat-Kanadából előkerültek még ennél is régibb, körülbelül a 600 és 610 millió évvel ezelőtti korba helyezett, korongforma lenyomatok, de ezek az állatok, ha azok voltak egyáltalán, még rejtélyesebbek, mint az ediacarai formák.



Vajon mihez kezdjünk ezzel?
Az ediacarai faunához tartozó *Dickinsonia costata*

Ez a könyv 39 találkozásra fűződik, és kívánatosnak tűnt, hogy korukat illetően is előálljon valamiféle becsléssel. A találkozások többségének kora a keltezhető kövületek és ezek kalibrálásával nyert molekuláris órák együttes alkalmazásával ma már meglehetős biztonsággal meghatározható. Nem meglepő, hogy a távolabbi találkozóhelyekhez érve a kövületek kezdenek cserbenhagyni bennünket. Ez azt jelenti, hogy a molekuláris módszereket sem lehet többé megbízhatóan kalibrálni, és a kor meghatározhatatlanságának vadonába érünk. A teljesség kedvéért rávettem magam, hogy valamiféle kort rendeljek e vadonbeli köz-őseinkhez, melyek durván a 23.-tól a 39.-ig terjednek. Számomra úgy tűnik, hogy a hozzáférhető legfrissebb bizonyítékok – még ha csupán kismértékben is – a közepes erősségű robbanáshoz közelebb álló nézetnek kedveznek. Márpedig ez ellentmond a valódi robbanás nélküli nézet melletti, korábbi elkötelezettségemnek. Majd ha több bizonyíték ugrik be, mint ahogy remélem, a legkevésbé sem lepődöm meg, ha a modern állattörzsek köz-őseit kereső utunkon azok újra a másik irányba tolnak bennünket, a prekambrium mélye felé. Az is előfordulhat, hogy visszahúznak bennünket egy meggyőzően rövid robbanás felé, amelyben a legtöbb nagy állattörzs köz-ősei a kambrium kezdete tájékára, egy húsz-, sőt esetleg tízmillió éves

időszakban sűrűsödnek össze. Ez esetben legerősebben arra számítanék, hogy még ha mai állatokra való hasonlóságuk alapján két kambriumi állatot helyesen helyeznénk is el két külön törzsbe, ott a kambriumban sokkal közelebb állhattak egymáshoz, mint az egyik mai leszármazottja a másik mai leszármazottjához. A kambriumi zoológusok nem külön törzsekbe, legfeljebb külön alosztályokban helyezték volna el őket.

Nem lennék meglepődve, ha az első két elmélet bármelyike bizonyulna igaznak. Nem dugom a nyakam a hurokba. De megeszem a kalapomat, ha valaha is előkerül olyan bizonyíték, amely a harmadik elméletet támasztja alá. Minden okunk megvan azt feltételezni, hogy a kambriumi evolúció olyan volt, mint a mai. Az egész túlfűtött ékesszólás az evolúció hajtóerejének kambriumot követő kimerüléséről; az egész nagyhangú hőzöngés a hóbortos újítások vad, fékevesztett táncáról, amikor a zoológiai felelőtlenség eme boldog hajnalán új törzsek szökkentek a létbe, nos – és itt valami olyan következik, amiért hurokba dugnám a nyakam – ez az egész egy nagy humbug.

Sietek hozzátenni, hogy semmi kifogásom a kambriumi prózaköltemények ellen. De az enyém hadd legyen Richard Fortey változata, gyönyörű könyvének, a *Life: An Unathorised Biography* (Az élet: egy jogosulatlan életrajz) 120. oldaláról:

> Elképzelem, amint estefelé egy kambriumi tengerparton állok, nagyjából úgy, ahogy a Spitzbergák partjain állva először merengtem el az élet életrajza fölött. A lábamnál locsogó tenger nagyjából ugyanolyannak tűnne. Ahol a tenger a szárazfölddel találkozik, kissé szúrós mikrobaszövedék (sztromatolit) párnák kör alakú foltjai virítanak, a prekambriumi kiterjedt ligetek túlélőiként. Szél fütyül a hátam mögötti vörös síkságon, ahol a látható életnek semmi jele, s lábszáraim hátsó felén érzem a szélhordta homok éles csípését. Ám a lábam előtt elterülő iszapos homokban levedlett féregbőrt, ismerősnek tetsző, kis összepöndörödött kígyókat látok. Amott pedig fodrozott lábnyomokat, amelyeket elrohanó rákszerű állatok hagytak maguk után... A szélfütyüléstől és a hullámtörés morajától eltekintve tökéletes a csend, és semmi nem kiáltozik a szélben...

Utóhang a bársonyféreg meséjéhez

(társszerző: Yan Wong)

Könyvem java részében hanyagul dobálózgattam a találkozások időpontjaival, és sok köz-ős bemutatásakor meglehetős sietséggel igyekeztem egy bizonyos számot leszögezni, hogy hányadik lehetett az ősök sorában. Időpontjaim főként kövületekre épülnek, amelyek korát a szóban forgó időtartamhoz képest meglehetős pontossággal meg lehet határozni, mint azt majd meglátjuk *A vörösfenyő meséjé*ben. Ám a kövületek nem sok segítséget nyújtottak, amikor az olyan puha testű állatok rokonságát nyomoztuk, mint a laposférgek. A bojtosúszós halak hiányoznak az utóbbi 70 millió év kövületanyagából, egy szem eleven példány 1938-as felfedezése ezért volt oly felvillanyozó meglepetés. A kövülettár még a legjobb időszakokból is ingatag tanú lehet. Most pedig, a kambriumba érve, sajnálatosan kifogyunk a kövületekből. Bármilyen álláspontra helyezkedünk is a „robbanással" kapcsolatban, azzal mindenki egyetért, hogy valami oknál fogva a nagy kambriumi fauna csaknem valamennyi elődje elmulasztotta, hogy megkövüljön. A kambriumot megelőző ősök

keresésében nem lelünk több segítségre a kőzetekben. Szerencsére nem a kövületek az egyedüli segedelmeink. *Az elefántmadár* és *A tüdős hal meséjé*ben, de másutt is éltünk a molekuláris óra néven ismert zseniális módszerrel. Itt az ideje, hogy magfelelően kifejtsük a molekuláris óra működését.

Hát nem csodás lenne, ha a mérhető vagy megszámolható evolúciós változások meghatározott sebességgel zajlanának? Ez esetben az evolúciót saját órájaként használhatnánk föl. Még csak körben forgó érvelésre sem lenne szükség, mivel az evolúciós órát az evolúció azon szakaszain kalibrálhatnánk ki, ahol jó a kövületállomány, majd ebből következtetnénk azokra az időszakokra, ahol gyér. Ám hogyan mérjük az evolúció sebességét? És ha mérni tudnánk, még akkor is, mi az ördögnek kellene arra számítanunk, hogy az evolúciós változás bármely mozzanatának olyan állandó sebességgel kell haladnia, ahogy az óra jár?

A leghalványabb reményünk sincs arra nézve, hogy a láb hossza, az agy mérete vagy a bajuszszálak száma egyenletes sebességgel változzon. Az ilyen tulajdonságok fontosak a túléléshez, és evolúciós sebességük alattomosan változó. Óraként éppen saját evolúciójuk alapelve ítéli használhatatlannak őket. Mindenesetre nehéz elképzelni a látható evolúció sebességének mérésére alkalmas, elfogadott szabványt. Vajon mérhetjük a lábhossz evolúcióját milliméter per évmillióban, százalék per évmillióban, vagy hasonlóban? J. B. S. Haldane javasolta a darwint az evolúciós sebesség mértékegységeként, ami a nemzedékenkénti százalékos változást fejezi ki. Amikor ezt a valódi kövületekre alkalmazzák, az eredmények a millidarwin, a kilodarwin meg a megadarwin közt szóródnak, ám senki sem lepődik meg ezen.

A molekuláris változások sokkal ígéretesebb órának tűnnek. Először is azért, mert nyilvánvaló, mit kell mérünk. Mivel a DNS négybetűs ábécével írott szövegszerű információ, egy teljesen magától értetődő módszer kínálkozik evolúciós sebességének mérésére. Csak meg kell számolni a betűeltéréseket. Vagy, ha úgy tetszik, megnézhetjük a DNS-kód fehérjetermékeit, és megszámoljuk az aminosavak pótlásait.* Okkal bízunk abban, hogy a molekuláris szintű evolúciós változások többsége inkább semleges, semmint a természetes kiválasztás által kormányzott. A közömbös nem egyenlő a haszontalannal vagy a működésképtelennel – csupán annyit jelent, hogy a gén különböző változatai egyformán jók, ezért az egyikről a másikra történő váltást nem veszi észre a természetes kiválasztódás. Márpedig ez kedvez az óránk.

* Amikor Emile Zuckerkandl és a nagy Linus Pauling először javasolták a molekuláris órát, ez volt az egyedüli módszer.

Ellentétben „ultradarwinistaként" szerzett, meglehetősen nevetséges hírnevemmel (kissé hevesebben tiltakoznék ellene, ha a név nem hangzana inkább bóknak), nem gondolom, hogy a molekuláris szintű evolúciós változások többségét előnyben részesíti a természetes szelekció. Ellenkezőleg, mindig is sok időt szántam a nagy japán genetikus, Motoo Kimura nevéhez kötődő, úgynevezett semleges elméletnek, és a munkatársa, Tomoko Ohta által továbbfejlesztett „csaknem semleges" elméletnek. A valóságot persze nem érdekli az emberi ízlés, de ezúttal én kifejezetten *akarom*, hogy egy ilyen elmélet igaz legyen. Mégpedig azért, mert ez egy külön, független evolúciós krónikát ad a kezünkbe, amely nincs kapcsolatban a körülöttünk lévő lények látható vonásaival, és életben tartják a reményt, hogy valamifajta molekuláris óra valóban működhet.

Csupán arra az esetre, ha a lényeget félreértené valaki, hangsúlyoznom kell, hogy a semleges elmélet semmiképp sem tagadja a szelekció fontosságát a termé-

szetben. A természetes kiválasztódás mindenható azon látható tulajdonságok szempontjából, amelyek befolyásolják a túlélést és a szaporodást. A természetes kiválasztódás az egyedüli magyarázat az élőlények funkcionális szépségére és látszólag „megtervezett" összetettségére. Ám ha vannak olyan változások, amelyeknek nincs látható hatásuk – olyan változások tehát, amelyek éppen elsuhannak a természetes szelekció radarja alatt –, azok büntetlenül felhalmozódhatnak a génállományban, és éppen azt szolgáltatják, amire egy molekuláris órához szükségünk van.

Mint mindig, Charles Darwin jóval megelőzte korát a semleges változások terén. *A fajok eredete* első kiadásában a 4. fejezet kezdete táján így ír:

> A kedvező egyedi eltérések és változások ilyen megőrzését és a hátrányosak elpusztítását nevezem én természetes kiválasztódásnak, vagyis a legalkalmasabbak fennmaradásának. A nem hasznos és nem káros változásokat a természetes kiválasztódás nem érinti; ezek vagy ingadozók maradnak, ahogy azt esetleg a polimorf fajok esetén látjuk.

A hatodik és egyben utolsó kiadásban a második mondatnak egy ennél is modernebbnek hangzó bővítménye van:

> ...vagy pedig végül a szervezet és a körülmények természetének köszönhetően rögzülnek. (Typotex Kiadó, 2003, 74. o., *Kampis György fordítása*)

A *rögzült* genetikai műszó, és Darwin biztosan nem teljes mai értelmében érthette, ám találóan átvezet mondandóm következő pontjához. Egy új mutációról, amelynek gyakorisága szó szerint nulláról indul egy populációban, akkor mondjuk, hogy „rögzült", amikor a populációban gyakorisága eléri a 100 százalékot. Az az evolúciós sebesség, amelynek mérésére a molekuláris óra szempontjából törekszünk, ugyanaz a sebesség, amellyel ugyanannak a genetikai helynek (locus) valamely mutációs sorozata rögzül a populációban. A rögzülés nyilvánvaló módja az, ha a természetes kiválasztás előnyben részesíti az új mutációt a korábbi „vad típusú" alléllal szemben, s ezért rögzülésbe kergeti – vagyis ez lesz a norma – „a legyőzendő". Ám egy új mutáció akkor is rögzülhet, ha pontosan olyan jó, mint elődje – ez a valódi semlegesség. Ennek semmi köze a szelekcióhoz: a puszta véletlen műve. Pénzdarabok feldobásával szimulálható a folyamat, és kiszámolható megtörténtének gyakorisága. Ha egyszer egy semleges mutáció 100 százalékra halmozódik, ez lesz a norma, az adott locus úgynevezett „vad típusa", amíg egy másik mutáció olyan szerencsés nem lesz, hogy felhalmozódva rögzült helyzetbe sodródjon.

Ha erős a semlegesség összetevője, elvileg kitűnő óránk lehet. Magát Kimurát nem különösebben érdekelte a molekuláris óra eszméje, de úgy vélte – ma már úgy tűnik, helyesen –, hogy a DNS legtöbb mutációja valójában semleges – „nem is hasznos, és nem is ártalmas". Figyelemre méltóan takaros és egyszerű számítással, amit itt nem bontok ki, kiszámította, hogy ha ez igaz, annak gyorsasága, amellyel az eredetileg semleges géneknek „végül rögzülniük" kell, pontosan megegyezik a mutációk keletkezésének sebességével, vagyis a mutációs gyakorisággal.

Láthatjuk, mennyire kapóra jön ez annak, aki molekuláris óra segítségével kívánja meghatározni az elágazási („találkozás") pontokat. Amíg a semleges genetikai locuson a mutációs gyakoriság az idők során állandó marad, a rögzülési sebesség is állandó marad. Most már összevethetjük két különböző állatban levő ugyanazon gént – mondjuk egy tobzoskában és egy tengericsillagban, amelyek legutóbbi közös

őse a 25. köz-ős volt. Számoljuk meg, hány betűben különbözik a tengericsillaggén a tobzoska génjétől. Feltételezzük, hogy az eltérések fele a köz-őstől a tengericsillaghoz, míg másik fele a tobzoskához vezető ágon halmozódott fel. Ez megadja azt a számot, ahányszor az óra ütött a 25. köz-őstől kezdve.

Ám a dolog nem ennyire egyszerű, és a bonyodalom érdekfeszítő. Először is, ha hallgatnánk a molekuláris óra ketyegését, az nem lenne olyan szabályos, mint egy ingaóráé vagy egy hajszálrugós óráé; inkább úgy hallatszana, mint egy Geiger-számláló valami radioaktív forrás közelében. Teljesen találomra járna! Minden kettyenés egy újabb mutáció rögzülését jelzi. A semleges elmélet szerint az egymást követő kettyenések közti szünet a véletlenszerűen „genetikai sodródástól" függően lehet hosszú vagy lehet rövid. A Geiger-számláló esetében a következő kettyenés ideje megjósolhatatlan. Viszont – és ez a lényeg – a nagyszámú kettyenés közti *átlagos* időköz nagyon is megjósolható. Abban bízunk, hogy a molekuláris óra ugyanúgy megjósolható, mint egy Geiger-számláló, és általában véve ez igaz is.

Másfelől, a ketyegés üteme valamely genomban génenként eltérő. Ezt már akkor észrevették, amikor még csak a DNS fehérjetermékeit tudták vizsgálni, és nem magát a DNS-t. A citokróm-c saját jellegzetes ütemében változik, amely gyorsabb, mint a hisztonoké, de lassabb, mint a globinoké, melyek viszont lassabbak a fibrinopeptineknél. Ugyanígy, ha a Geiger-számlálót egy igen enyhén radioaktív forrás, például egy gránitdarab mellé helyezzük, szemben egy erősen radioaktív forrással, mint például egy rádiumdarabbal, a következő kettyenés ideje mindig megjósolhatatlan, de a ketyegés átlagos sebessége megjósolhatóan és gyökeresen eltér a gránittól a rádium felé haladva. A hisztonok olyanok, mint a gránit: igen lassú tempóban ütnek; a fibrinopeptidek olyanok, mint a rádium: zúgnak, mint egy megkergült méh. Egyéb fehérjék, mint például a citokróm-c (vagy inkább az ezeket előállító gének) átmenetet képviselnek. Génórák egész spektruma létezik, melyek mindegyike saját ütemre jár, és mindegyik valami más kormeghatározási célra alkalmas, no meg egymás ellenőrzésére.

Miért eltérő a különböző gének sebessége? Mi különbözteti meg a „gránit" gént a „rádium" géntől? Jusson eszünkbe, hogy a semleges nem haszontalant jelent, csak azt, hogy egyformán jó. A gránit gének és a rádium gének egyformán jók. Csupán arról van szó, hogy a rádium gének sok helyen megváltozhatnak a gén hosszában, és továbbra is hasznosak maradnak. A gén működésének sajátosságai miatt teljes hosszának bizonyos részei szabadon módosulhatnak anélkül, hogy ez érintené a gén működését. Ugyanannak a génnek más részei viszont erősen érzékenyek a mutációra, és működése károsodik, ha ezeket a részeket sújtja a mutáció. Talán minden génnek van egy gránit része, amely nem változhat sokat, ha a gén tovább kíván működni, és egy rádium része, amely kötetlenül futhat szabadon, amíg a gránit rész érintetlen marad. Talán a citokróm-c génnek van egy gránitdarabkákból és rádiumdarabkákból álló keveréke; s a fibrinopeptid gének nagyobb arányban tartalmaznak rádiumdarabkákat, míg a hiszton gének nagyobb arányban tartalmaznak gránitdarabkákat. Van itt egy kis gond vagy legalább is bonyodalom, ha ezzel kívánjuk magyarázni a gének ketyegési gyakoriságának különbségeit. Ám ami most számunkra fontos, az az, hogy a ketyegési gyakoriság valóban eltér a különböző gének között, míg egy bizonyos gén aránya meglehetősen állandó, még a nagyon eltérő fajok esetében is.

Nem teljesen állandó mégsem, és ez elvezet bennünket a következő, ezúttal komoly problémához. Nem csupán arról van szó, hogy a ketyegési ütemek pontatlanok és következetlenek. Bizonyos gének esetében következetesen nagyobbak egyes állatoknál, mint másoknál, és ez valódi eltolódást visz a képbe. A baktériumok DNS-helyreállító rendszere sokkal hatástalanabb, mint a mi DNS-ünk kifinomult „hibajavítása", így a baktériumgének gyorsabban mutálódnak, és molekuláris órájuk gyorsabban ketyeg. A rágcsálóknak is eléggé felületes javítóenzimjeik vannak, ami megmagyarázhatja, miért gyorsabb a rágcsálók molekuláris evolúciója, mint a többi emlősé. A jelentős evolúciós változások, mint például az elmozdulás a „meleg vérűség" felé, képesek felgyorsítani a mutációs gyakoriságot, ami nagy pusztítást vihet végbe az órára alapozott elágazási időpontbecsléseinkben. Kifinomult módszereket fejlesztenek ki, amelyek beszámítják a változó mutációs gyakoriságot a különböző leszármazási vonalakon, de ezek még gyerekcipőben járnak.

Ennél is aggasztóbb, hogy a szaporodási idő mintha maximális lehetőséget kínálna a mutációra. Így az olyan rövid életciklusú fajok, mint a gyümölcslégy, évmilliónként gyorsabban szednek össze mutációkat, mint mondjuk az elefántok a maguk generációk közti hosszabb időszakaival. Ez arra utalhat, hogy a molekuláris óra esetleg generációkat számlál, nem a valós időt. Valójában azonban, amikor a molekuláris biológusok olyan leszármazási vonalakon vizsgálták meg a sorozatokban lévő változások gyakoriságát, amelyek történetesen jó kövületdokumentációval rendelkeznek, nem ezt állapították meg. Valóban úgy tűnt, olyan a molekuláris óra, amely években, és nem nemzedékekben méri az időt. Ez derék dolog, de hogyan magyarázzuk?

Az egyik felvetés szerint igaz, hogy az elefántok szaporodási ciklusa a gyümölcslegyekéhez képest lassú, a szaporodási események közti években az elefántgéneket éppen annyi mutáció kiváltásra képes kozmikus sugárzás bombázhatta, mint a gyümölcslégygéneket. A gyümölcslégygének kétségtelenül minden kéthetben egyszer átugornak egy új légybe, de miért foglalkoznának ezzel a kozmikus sugarak? Hát igen: egy elefántban tíz évig üldögélő géneket ugyanannyi kozmikus sugár érhet, mint ugyanannyi időszak alatt egymás után 250 gyümölcslégybe átugró géneket. Lehet valami ebben az elméletben, de talán nem elegendő magyarázat. Az valóban igaz, hogy a legtöbb mutáció akkor jelenik meg, amikor új nemzedék készül, tehát úgy tűnik, másik magyarázatra van szükségünk a molekuláris óra azon nyilvánvaló képességét illetően, hogy inkább években, mint nemzedékekben méri az időt.

Ezen a ponton tette meg Kimura kollégája, Tomoko Ohta okos hozzájárulását: a *csaknem* semleges elméletet. Kimura, mint mondtam, azt szűrte le teljesen semleges elméletéből, hogy a semleges gének rögzülési gyorsaságának egyenlőnek kell lennie a mutációs gyakorisággal. Ez a figyelemre méltóan egyszerű következtetés azon múlott, hogy egy elegáns „törlést" végzett a számításban. Márpedig az a mennyiség, amit kitörölt, a populációméret volt. A populációméret szerepel ugyan az egyenletben, de mivel mind a törtvonal fölött, mind alatta felbukkan, kényelmesen eltűnik egy matematikai füstfelhőben, így a rögzülési gyorsaság a mutációs gyakorisággal egyenlőként bukkan föl. De *csak* akkor, ha az érintett gének valóban és teljesen semlegesek. Ohta visszatért Kimura számításaihoz, de megengedte, hogy mutációi a teljes semlegesség helyett csak csaknem semlegesek legyenek. És ezen múlott az egész különbség. A populációméretet már nem lehet többé kitörölni.

Ez azért van – miként azt a matematikai genetikusok már régen kiszámolták –, mert a nagy populációkban az enyhén káros géneket nagyobb valószínűséggel küszöböli ki a természetes szelekció, mielőtt azoknak esélyük lenne a rögzülésig sodródni. Egy kisebb populációban a szerencse nagyobb valószínűséggel juttat egy kismértékben káros gént a rögzülésbe, mielőtt a természetes kiválasztódás „észrevenné". A szélső példa kedvéért képzeljünk el egy olyan populációt, amelyet csaknem eltöröl valami katasztrófa, s csak egy fél tucat egyed marad meg. Nem lenne különösebben meglepő, ha véletlenül mind a hat rendelkezne a kismértékben káros génnel. Ez esetben rögzüléssel van dolgunk – a populáció egésze érintett. Ez szélsőséges eset, de a matematika általánosabban is ugyanezt a hatást jelzi. A kis populációk kedveznek olyan gének rögzülésének, amelyek egy nagy populációban kiküszöbölődnének.

Így, mutatott rá Ohta, a populációméretet többé nem lehet kihagyni a számításból. Ellenkezőleg, éppen a megfelelő helyen van ahhoz, hogy a molekulárisóra-elméletet egy kicsit feljavítsa. Most térjünk vissza elefántjainkhoz és gyümölcslegyeinkhez. A hosszú életciklusú állatoknak általában kisebbek a populációi, míg a rövid életciklusú, kis állatoknak általában nagyobbak. Ez nem valami bizonytalan hatás, hanem meglehetősen törvényszerű, és olyan okokra épül, amelyeket nem nehéz elképzelni. Szóval, bár a gyümölcslegyeknek az órára általában gyorsító hatású, rövid generációs idejük van, ugyanakkor a populációjuk is nagyobb, ami az órát újra lelassítja. Az elefántoknak lehet lassú órája, ami a mutációkat illeti, de kis populációjuk ismét felgyorsítja az órát a rögzülési részlegen.

Ohta professzor bebizonyította, hogy a valóban semleges mutációk, mint például a szemét DNS vagy a „szinonim" helyettesítések,* úgy tűnik, generációs időben ketyegnek, szemben a valós idővel: a rövid generációs idejű állatok gyors DNS-evolúciót mutatnak, ha valós időben mérjük. Megfordítva, a valamit valóban megváltoztató, és ezért a természetes szelekcióval összeütköző mutációk többé-kevésbé egyenletesen ketyegnek valós időben.

Bármi legyen is az elméleti ok – ismert kivételektől eltekintve, amelyektől általában eltekintünk** –, a gyakorlatban valóban úgy tűnik, hogy a molekuláris óra épkézláb eszköznek bizonyult. Alkalmazásakor fel kell rajzolnunk a bennünket érdeklő fajok evolúciós fáját, és meg kell becsülnünk az egyes vonalak evolúciós változásainak a mennyiségét. Ez nem olyan egyszerű, hogy pusztán összeszámoljuk a két mai faj génjei közti különbségeket, és az eredményt elosztjuk kettővel. Fel kell használnunk *A gibbon meséjé*ben megismert maximális valószínűség és bayesianus filogenetika előrehaladott faépítő módszereit is. Miután a kalibráláshoz lehorgonyoztunk néhány ismert korú kövülettel, megkockáztathatjuk a fán lévő találkozóhelyek korának megbecslését.

Az ily módon gondosan beállított molekuláris óra néhány elképesztő eredményt adott. Az ember és a csimpánz közös ősének molekuláris órára épülő kormeghatározása plusz-mínusz egymillió év hibahatárral 6 millió év körül összpontosul. Amikor először bejelentették, ez az évszám csaknem dühkitörésbe kergette a paleontológusokat, akik korábban 20 millió év körüli időpontra helyezték a szétválást. Manapság csaknem mindenki elfogadja a rövid molekuláris dátumot. Az óra legnagyobb sikertörténete talán a méhlepényes emlősök szétrajzása, ahogy azt *A nagy kréta kori katasztrófa* című fejezetben bemutattuk. Miután rendkívüli mutációs se-

* A „degenerált" DNS-kód mellett valamely aminosavat több „szinonim" mutáció is meghatározhat. Egy azonos szinonimát eredményező mutációs változás nem változtatja meg a végeredményt.

** A gyakorlatban óránk génjeinek gondos megválasztásával és a rágcsálókhoz hasonló, kivételes mutációs sebességű fajok elkerülésével tekinthetünk el tőlük.

bességük miatt kizártuk a rágcsálókat, azt találjuk, hogy számos molekuláris órás becslés megegyezik abban, hogy valamennyi emlős ősét messze a kréta korba helyezi vissza. A mai méhlepényes emlősökből vett DNS egyik órás vizsgálata a közös több mint 100 millió évvel ezelőttre, pontosan a dinoszaurusz hegemónia sűrűjébe helyezte. Amikor az ilyen évszámokat bejelentették, ellentmondásba kerültek a kövületbizonyítékokkal, amelyek jóval későbbi emlősrobbanásra és a korábbi emlőskövületek hiányára látszottak utalni. Ám az újabban feltárt, 125 millió évvel ezelőtti emlőskövületek mára igazolták a molekuláris óra évszámait, és a korai időpontok egyre szélesebb körben válnak elfogadottá. Bővelkedünk sikertörténetekben, amelyek hozzájárultak az e könyvben is felhasznált időpontokhoz.

Önelégültségi riadó! Figyeljünk csak azokra a vészcsengőkre!

A molekuláris órák végül is a kövületek általi kalibrálástól függnek. Radiometrikusan kapott időpontokat a kövületekre vonatkozóan azzal a tisztelettel fogadják el, amellyel a biológia joggal adózik a fizikának (lásd *A vörösfenyő meséjét*). Egy stratégiailag elhelyezett kövület, amely bizonysággal megszabja egy lényeges evolúciós elágazási pont alsó határát, egy egész sereg, törzsekbe sorolt különféle állat genomján elhelyezett molekuláris óra kalibrálására felhasználható. Ám amikor prekambriumi területre érünk, ahol a kövületkészlet kimerül, viszonylag fiatal kövületekre kell támaszkodnunk az ük- és szépapák óráinak kikalibrálásakor, amelyeket aztán sokkal régebbi időpontok megbecslésére használunk. Márpedig ez gondokat von maga után.

A kövületek 310 millió évre teszik a 16. találkozás idejét, vagyis az emlősök és a Sauropsidák (madarak, krokodilok, kígyók stb.) kereszteződési pontját. Ez az egy időpont biztosítja az etalont a jóval régebbi elágazási pontok molekuláris órával történő kormeghatározásához. Minthogy minden becslésnek van bizonyos hibaszázaléka, így tudományos értekezéseikben a tudósok megpróbálnak nem elfeledkezni arról, hogy „hibasávot" helyezzenek becsléseikre. Megadják az időpontot, és hozzáteszik, plusz-mínusz, mondjuk 10 millió év. Mindez nagyon szép, ha a molekuláris órával keresett évszámok ugyanabban a tartományban találhatók, mint a kalibrálására használt kövületdátumok. Ha a tartományok között nagy az eltérés, a hibasávok riasztóan növekedhetnek. A széles hibasávnak az a következménye, hogy ha csavarunk egy kicsit az előfeltevéseken, vagy kismértékben megváltoztatjuk a számításban szereplő számokat, a végeredményre gyakorolt hatás drámai lehet. Nem plusz-mínusz 10 millió év, hanem, mondjuk plusz-mínusz félmilliárd év. A széles hibasávok azt jelentik, hogy a becsült évszám nem ellenálló a mérési hibával szemben. *A bársonyféreg meséjében* láttunk különböző molekulárisóra-becsléseket, amelyek a fontos elágazási pontokat messze a prekambriumba helyezték, például a gerincesek és a puhatestűek közti szakadást 1200 millió évre. Újabb vizsgálatok, olyan kifinomult módszerek alkalmazásával, amelyek a mutációs gyakoriság több lehetséges változatát engedik meg, a becsült értékeket a 600 milliós tartományba csökkentették, ami igencsak drámai rövidülés – igaz, belefért az eredeti becslések hibasávjába, ám ez kevés vigasz.

Bár általában lelkes híve vagyok a molekuláris óra eszméjének, úgy vélem, az igen korai elágazási pontok becsléseit óvatosan kell kezelni. Egy 310 millió évesre kalibrált kövület visszavetítése egy több mint kétszer régebbi találkozáspontra, veszélyekkel terhes. Például lehetséges, hogy a gerincesek molekuláris evolúciójának sebessége (amely belép kalibrációs számításunkba) nem jellemző az élővilág többi

részére. Úgy vélik, hogy a gerincesek teljes genomja kétszer kettőződött meg. A nagyszámú másolatgén hirtelen létrejötte befolyásolhatja a csaknem semleges mutációkra háruló szelekciós nyomást. Némely tudósok (mint korábban kifejtettem, én nem tartozom közéjük) úgy vélik, hogy a kambrium nagy fordulatot jelentett az egész evolúciós folyamatban. Ha igazuk van, a molekuláris órákat gyökeresen újra kellene kalibrálni, mielőtt szabadon engednénk őket a prekambriumban.

Általánosságban, minél távolabbra jutunk vissza az időben, és a kövületkészlet kimerül, csaknem a kizárólagos sejtések birodalmába lépünk. Mindazáltal bízom a jövő kutatásaiban. A csengcsiangi és hasonló képződmények jelentősen kiterjeszthetik kalibrációs pontjaink hatáskörét az állatvilág olyan térségeibe, amelyek eddig határokon túl feküdtek.

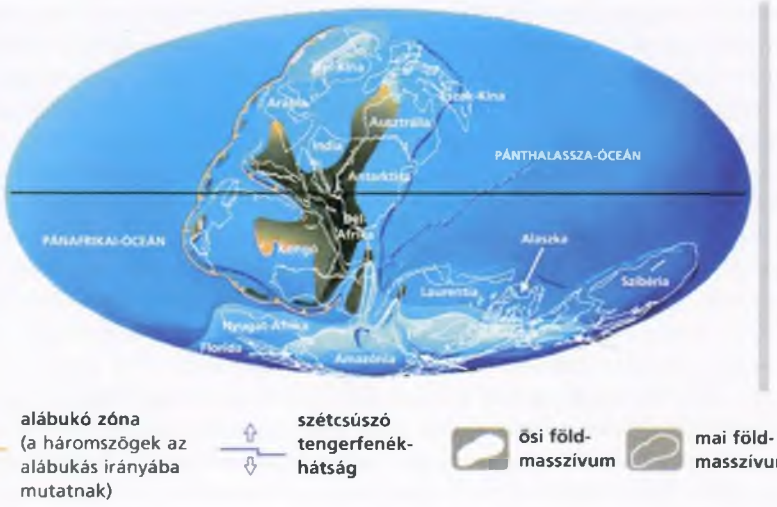
Eközben felismervén, hogy a sejtések ősi vadonjában bolyongunk, Yan Wong és én a következő megközelítőleges stratégiát tettük magunkévá a zarándoklat hátralévő részével kapcsolatos időpontbecslési próbálkozásunkban. Ideiglenesen elfogadtuk az 1100 millió évet a 34. találkozás, vagyis az állatok és a gombák találkozásának időpontjára. A tudományos irodalomban gyakran alkalmazzák ezt az időpontot, amely összeegyeztető a legrégibb növényi kövülettel, az 1200 millió évvel ezelőtti vörösalgával. Ezután a 27.-től a 34.-ig terjedő köz-ősöket elosztjuk durván a molekuláris óra vizsgálatok által jelzett arányban. Ha azonban tévedünk a 34. találkozás meghatározásában, akkor időpontjaink innentől kezdve a zarándoklat során több tíz vagy akár százmillió évvel is túlozhatnak. Ne feledjük ezt el, amikor belépünk a datálhatatlanság eme vadonába. E tájon annyira elbizonytalanodom az időpontokban, hogy mostantól felhagyok azzal a máris elég furcsa önhittséggel, hogy számszerűsítsem az ősatyákat. Ez a szám hamarosan milliárdokban mérhető. Az egymást követő találkozáspontok sorrendje biztosabb, de még itt is tévedhetünk.

27. TALÁLKOZÁS
BÉLÜREG NÉLKÜLI LAPOSFÉRGEK

27

Amikor az ősszájúakról, a 26. köz-ős utódairól beszéltünk, a laposférgeket (Platyhelminthes) szilárdan közöttük helyeztem el. Ám akad itt egy érdekes kis bonyodalom. Az újabb bizonyítékok meglehetős határozottsággal arra utalnak, hogy a laposférgek törzse fikció. Természetesen nem azt állítom, hogy maguk a laposférgek nem léteznek, hanem hogy olyan eltérő férgek gyűjteménye, amiket nem volna szabad közös névvel illetni. Többségük valódi ősszájú, és találkoztunk is velük a 26. találkozáson, ám némelyikük meglehetősen elütő, és csak itt, a 27. találkozáson csapódnak hozzánk. Ennek időpontját 630 millió évvel ezelőttre teszem, bár a geológiai idő e távoli térségeiben e kormeghatározások egyre bizonytalanabbak.

A 630 millió év bizony meglehetősen régebbi, mint a 26. találkozásra magunkévá tett 590 millió év. Ez a hosszú hézag talán a „hógolyó Föld" epizóddal magyarázható, amely egy fantáziadús elmélet szerint megelőzte a kambriumot. E szerint meglehetősen homályos okoknál fogva, amelyek a divatos, de talán kissé túlértékelt matematikai káoszelmélettel állhatnak összefüggésben, az egész Föld az egész bolygóra kiterjedő jégkorszak szorításában volt körülbelül 620 millió évvel ezelőtti időtől mintegy 590 millió évvel ezelőttig, amely elég pontosan kitölti a 27. és a 26. találkozás közti hatalmas hézagot. Ahogy a térképen is látható, hatalmas területre terjedt ki az eljegesedés. Ám hogy a jég elborította-e az egész bolygót, vitatott kérdés, és én át is ugrom.



A Föld a felső prekambriumban, 650 millió évvel ezelőtt [257]. Rodinia ősi paleokontinense feldarabolódott, és a ma Ausztráliát, az Antarktiszt és Ázsiát alkotó földtömegek az Északi-sark felé sodródtak. Ezen mozgások nyomán tárult fel a Pánthalassza-óceán. Ebben a „hűtőház" világban a Déli-sarkot hatalmas és növekvő jégsapka borította.

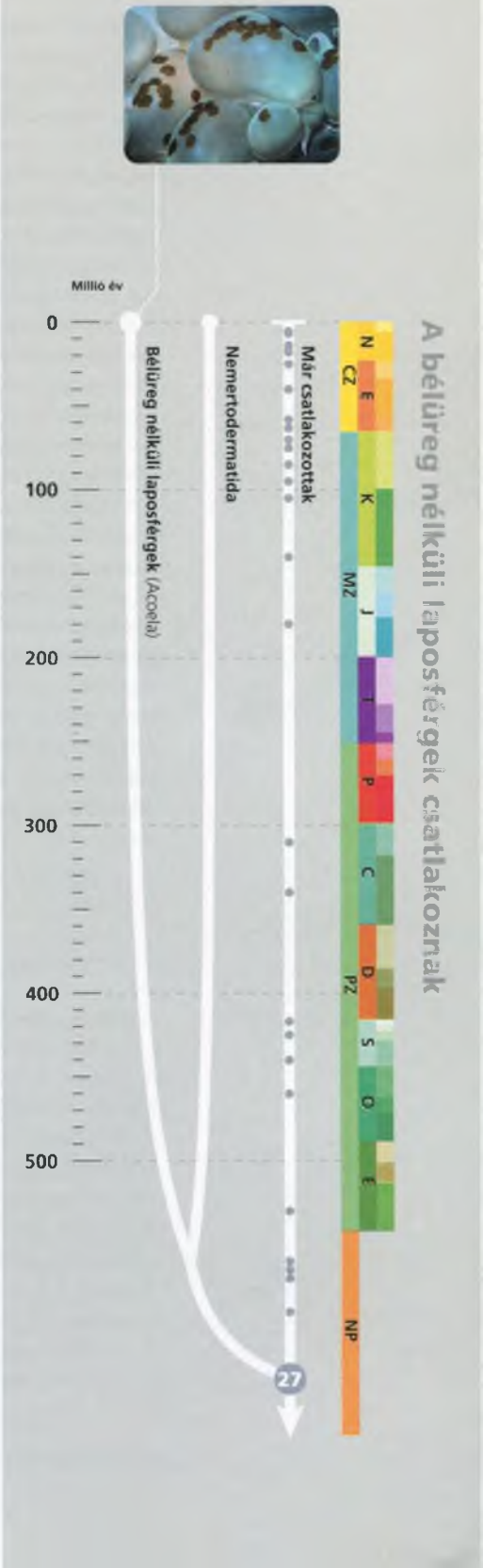
A BÉLÜREG NÉLKÜLI LAPOSFÉRGEK CSATLAKOZNAK
A kétoldali szimmetriájú állatok túlnyomó többsége ősszájú vagy újszájú. A legutóbbi molekuláris adatok leválasztanak két laposféreg csoportot, amelyek nem ősszájúak, és nem is újszájúak, hanem korábban leágazott vonalak. Idetartozik az Acoela rend (mintegy 320 leírt fajjal) és a Nemertodermatida (10 leírt fajjal), amelyeket együttesen bélüreg nélküli laposférgeknek nevezünk. Ezt a taxonómusok valószínűleg gyorsan elfogadják. A jelenlegi bizonyítékok szerint az Acoela és a Nemertodermatida az itt bemutatott módon testvércsoportok.

KÉP: kevéssé ismert bélüreg nélküli laposférgek buborékkorallon

Amiben valamennyi laposféreg a névadó laposság mellett közös, az az, hogy nincs sem végbélnyílásuk, sem cölómájuk. Egy hozzánk vagy egy földigilisztához hasonló, tipikus állat cölómája a testüreg. Ez nem a bélcsatornát jelenti: a bélcsatorna, bár üreg, alaktanilag a külvilághoz tartozik úgy, hogy a test az alaktani fánktészta, és a gyűrű közepén helyezkedik el a száj, a végbélnyílás és az őket összekötő bélcsatorna. A cölóma ezzel szemben az a testen belüli üreg, amelyben a belek, a tüdők, a szív, a vesék és a többi belső szerv található. A laposférgeknek nincs cölómájuk. A beleknek helyt adó bélüreg helyett a laposférgek belei és egyéb belső szervei egy parenchymának nevezett szilárd szövetbe ágyazódnak. Ez alapvető különbségnek tűnhet, de a cölóma embriológiailag meghatározott, és a zoológusok kollektív tudattalanjának a mélyén honol.

Végbélnyílás híján hogyan távolítják el a laposférgek a hulladékokat? Ha nincs más, hát a szájon át. A bél lehet egy egyszerű zsák, vagy a nagyobb laposférgeknél zsákutcák bonyolult hálózatára ágazhat szét, mint a tüdőnk légcsövei. Tüdőnknek elméletileg szintén lehetne egy „végbélnyílása" – egy külön lyuk a távozó, szén-dioxid-tartalmú levegőnek. A halak valami hasonlót művelnek, mivel légzési vízáramuk egy lyukon bemegy, és másikakon – a kopoltyúréseken – át távozik. Ám a mi tüdőnk árapályra épül, akár a laposférgek emésztőrendszere. A laposférgeknek nincsen tüdejük, sem kopoltyúik, hanem a bőrön keresztül lélegeznek. Vérkeringési rendszerük sincs, úgyhogy feltehetően elágazó belük szolgálja azt a célt, hogy elszállítsa a tápanyagot a test valamennyi részébe. Néhány örvényféreg, különösen a kivételesen szövevényes bélrendszerűek, hosszú kihagyás után újra felfedezték a végbélnyílást (vagy inkább a sok végbélnyílást).

Mivel a laposférgeknek nincs cölómájuk, és többségüknek végbélnyílásuk sem, mindig is primitíveknek tekintették őket – a legprimitívebbeknek a kétoldali szimmetriájú állatok közül. Mindig is azt feltételezték, hogy valamennyi újszájú és



össszájú őse talán valami laposféregszerű lény volt. De most – ahogy már belefogtam – a molekuláris bizonyítékok arra utalnak, hogy két különböző fajta laposféreg van, és e kettő közül csak az egyik eredendően primitív. Eredendően az Acoela és a Nemertodermatida fajok primitívek. Az Acoelák bélüregük hiányáról kapták a nevüket, amely számukra és a Nemertodermatidák számára primitív hiány, de a valódi laposférgek számára nem az. A valódi laposférgek fő csoportjáról, a mételyekről, a szalagférgekről és az örvényférgekről ma úgy vélik, hogy másodlagosan veszítették el a végbélnyílásukat és a bélüregüket. Átestek egy olyan fokozaton, amikor jobban hasonlítottak egy normális Lopotrochozoára, aztán újra olyanná váltak, mint korábbi őseik, és elveszítették végbélnyílásukat és bélüregüket. Ők a többi össszájúval együtt a 26. találkozáson társultak hozzánk. Nem megyek bele a részletes bizonyításba, csak elfogadom a következtetést, miszerint az Acoelák és a Nemertodermatidák eltérőek, és parányi patakocskaként itt, a 27. találkozáson csatlakoznak hozzánk.

Ezen a ponton kellene bemutatnom ezeket a hozzánk társuló apró férgeket, de, bár röstellem kimondani, legalábbis a legtöbb eddig látott csodával összehasonlítva nem sok bemutatnivalónk van. A tengerben élnek, és nem csupán bélüregük, de tulajdonképpen bélcsatornájuk sincs – ami csak a hozzájuk hasonlóan igen apró állatok esetében megoldható.

Némelyikük úgy egészíti ki étrendjét, hogy növényeken üt tanyát, így közvetett módon azok fotoszintéziséből húz hasznot. A *Waminoa* nem tagjai egysejtű algákkal szimbiózist alkotva, azok fotoszintéziséből élnek. Egy másik bélüregnélküli, a *Convoluta,* egy egysejtű zöldalgával, a *Tetraselmis convolutae*val áll hasonló viszonyban. Feltehetően ezek a szimbionta algák teszik lehetővé e kis férgek számára, hogy ne legyenek olyan kicsik. Ezek a férgek mintha azon igyekeznének, hogy megkönnyítsék algáik, és így a maguk életét is, amikor a felszínen nyüzsögve a lehető legtöbb fényhez juttatják őket. Peter Holland professzor írja nekem, hogy a *Convoluta roscoffensis*ek

> ...bámulatos állatok, ha természetes élőhelyükön figyeljük meg őket. Zöld „nyálkaként" jelennek meg Britannia bizonyos partjain, ám ez a nyálka valójában ezernyi bélüregnélküliből és endoszimbionta algáikból áll. És ahogy közelebb lopózik az ember, a „nyálka" elrejtőzik! (eltűnik a homokban). Nagyon különös látvány.

A bélüregnélkülick még velünk élnek, így mai állatokként kezelendők, de alakjuk és egyszerűségük arra utal, hogy nem sokat változhattak a 27. köz-ős kora óta. A mai bélüreg nélküli férgek feltételezhetően közel állnak valamennyi kétoldali szimmetriájú állat őséhez.

Állatsoregletünkben most már együtt van valamennyi Bilateraliának tekintett állattörzs, vagyis az állatvilág nagy része. A név kétoldali szimmetriájukra utal, és szándéka szerint kizárja a két fő, sugaras szimmetriájú állattörzset, közös nevükön Radiatákat, amik majd most csatlakoznak zarándoklatunkhoz: a Cnidariát (a csalánozók, vagyis: tengeri virágállatok, korallok, medúzák) és a Ctenophorát (bordás medúzák). Ezen egyszerű terminológia szempontjából nem szerencsés, hogy a tengericsillagok és rokonaik, amiket a zoológusok egyértelműen a Bilateriáktól származtatnak, legalábbis felnőttként, ugyancsak sugarasan szimmetrikusok. A feltevések szerint a tüskésbőrűek másodlagosan nyerték sugaras szimmetriájukat, amikor

rátértek a fenéklakó életmódra. Lárváik kétoldalian szimmetrikusak, és nincsenek közeli rokonságban az olyan „valódi" sugaras szimmetriájú állatokkal, mint a medúzák. Másfelől, nem minden csalánozó (tengeri virágállatok és rokonaik) (valóban) sugarasan szimmetrikus, és egyes zoológusok úgy vélik, nekik is kétoldalian szimmetrikus őseik voltak.

Mindenesetre a Bilateralia szerencsétlen név ahhoz, hogy egyesítse a 27. köz-ős utódait, és elkülönítse őket a még ezután csatlakozó zarándokoktól. Egy másik lehetséges szempont a „triploblasztia" (három sejtrétegűség) szemben a „diploblasztiával" (két sejtrétegűség). Embriológiai fejlődésük döntő szakaszában a csalánozók és a bordás medúzák két fő sejtrétegből („ektoderma" és „endoderma") építik fel a testüket, míg a Bilateraliák háromból (középütt hozzáteszik a „mezodermát"). Azonban ez a felosztás is vitatható. Némely zoológus úgy véli, hogy a „Radiatáknak", azaz a „sugarasoknak" is vannak középső sejtjeik. Szerintem nincs értelme azon törni magunkat, hogy a *Bilateralia* és a *Radiata*, vagy a *dibloblaszta* és a *triploblaszta* jól használható szavak-e, inkább arra érdemes összpontosítani, kik lesznek a legközelebb csatlakozó zarándokok.

Ám még ez is vita tárgya. Abban senki sem kételkedik, hogy a csalánozók egységes zarándokcsoport, amik valamennyien egyesültek már, „mielőtt" bárki mással egyesültek volna. Ugyanezt senki sem vitatja a bordás medúzák kapcsán. A kérdés az, milyen sorrendben csatlakoznak egymáshoz és hozzánk. Mindhárom logikai lehetőségnek akadnak támogatói. A helyzetet súlyosbítja, hogy van egy apró törzs, az egyetlen fajt, a *Trichoplax*ot tartalmazó Placozoa, amelyet senki sem tud biztosan besorolni. Én azt a gondolati iskolát követem, amely szerint elsőként a csalánozók csatlakoznak hozzánk a 28. találkozáson, aztán a bordás medúzák a 29.-en, majd a *Trichoplax*ok a 30.-on. Mindez megoldódik, amint több molekuláris adat válik hozzáférhetővé. Ez hamarosan bekövetkezik, de attól félek, nem elég hamar e könyv szempontjából. Mindenkit figyelmeztetek arra, hogy a 28. és 29. találkozásról, de a 30.-ról és a 31.-ről is kiderülhet, hogy nem jó sorrendben állnak.

28. TALÁLKOZÁS ■ CSALÁNOZÓK

28

SZEMKÖZTI OLDAL
TALÁN A LEGBONYOLULTABB SEJTEN BELÜLI KÉSZÜLÉK
A csalánsejt keresztmetszete

A férgekből és utódaikból álló zarándokcsapatunk most már valóban hatalmasra duzzadt, és mindannyian együtt jutottunk vissza a 28. találkozáshoz, ahol a csalánozók csapódnak hozzánk. Közéjük tartoznak az édesvízi hidrák és az ismertebb tengeri virágállatok, korallok és medúzák, amelyek mind nagyon különböznek a férgektől. A kétoldali szimmetriájú állatoktól eltérően egy központi szájtól kiindulva sugarasan szimmetrikusak. Nincs szembeötlő fejük, nincs első és hátsó végük, sem jobb és bal, csak felső és alsó oldaluk.

Mikor kerül sor erre a találkozásra? Nos, ki tudja? Annak érdekében, hogy a találkozáspontokat arányosan tüntessük föl a diagramon, meg kell határozni egy dátumot. De itt, az idő mélyén annyi a bizonytalanság, hogy nem igen tehetünk egyebet, mint hogy szétosztjuk évszámainkat a legközelebbi 50 vagy akár 100 millió évben. Ennél kisebb értékek hamisan keltenék a pontosság érzetét. Némely szaktekintély százmillió évekkel mond ellent ennek.

Mivel a csalánozók a legtávolabbi állat-unokatestvéreink közé tartoznak (némelyiküket a növényekkel is összekeverik), gyakran igen primitívnek tekintik őket. Természetesen ez nem ilyen egyértelmű – a 28. köz-őstől kezdve éppen annyi idejük állt rendelkezésre a változáshoz, mint nekünk. Az viszont igaz, hogy sok olyan tulajdonság hiányzik belőlük, amit egy állatban fejlett vonásnak tekintünk. Nincsenek távolsági érzékszerveik, idegrendszerük szétszórt hálózat, nem tömörül aggyá, ganglionná vagy főbb idegtörzzsé, emésztőszervük pedig egyetlen, osztatlan üregből áll, amelynek egyetlen nyílása a végbélnyílás feladatát is ellátó száj.

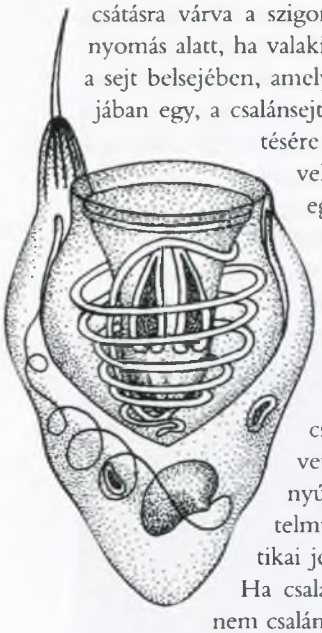
Másfelől, nem sok másfajta állat mondhatja el magáról, hogy újrarajzolta a világtérképet. A csalánozók szigeteket építenek: szigeteken, amelyeken élhetünk, szigeteket, amelyek elég nagyok ahhoz, hogy repülőterük legyen. A Nagy-korallzátony több mint 2000 kilométer hosszú. *A korallpolip meséjé*ből megtudjuk, hogy maga Charles Darwin dolgozta ki a korallzátonyok képződésének elméletét. A csalánozók közt találjuk a világ legveszélyesebben mérgező állatait, melyek szélsőséges példája a darázsmedúza. Ezek késztetik a derék ausztrál fürdőzőket nejlon testharisnya viselésére. A csalánozók fegyvere félelmetes ereje mellett más okokból is figyelemre méltó. A kígyók méregfogával vagy a skorpiók és a darazsak fullánkjával szemben a medúza fullánkja egy sejt belsejéből miniatűr szigonyként pattan elő. Vagyis ezernyi, csalánsejtnek nevezett sejtből (melyeket olykor nematocisztának is neveznek, de ez szorosabb értelemben csupán a csalánsejt egyik változata), és ezek mindegyikének saját sejtméretű szigonya – csalánja – van. A *knidé* görögül 'csalánt' jelent, tudományos nevük – a Cnidaria – innét származik. Nem mindegyikük olyan veszélyes ránk, mint

A CSALÁNOZÓK CSATLAKOZNAK
A csalánozók (medúzák, korallok, tengeri virágállatok) és a bordás medúzák leágazásának sorrendje gyakorlatilag megoldatlan. A legtöbb szerző vagy az egyiket, vagy a másikat (olykor mindkettőt) tartja a kétoldali szimmetriájú állatok legközelebbi rokonainak. Bizonyos molekuláris adatok arra utalnak, hogy talán a csalánozók foglalják el ezt a pozíciót. Sajnos a mintegy 9000 csalánozófaj alcsoportjainak összetétele és elágazásai is vitatottak, ám azt az alapvető megoszlást, ami a kifejlett medúza állapotú vagy e nélküli ágak közt található (lásd a főszöveget), többnyire elfogadják.

KÉPEK BALRÓL JOBBRA: fehérpettyes tengeri rózsa *(Urticina lofotensis)*; a kelyhes polipocskák közé tartozó medúza (*Aequorea*-faj).

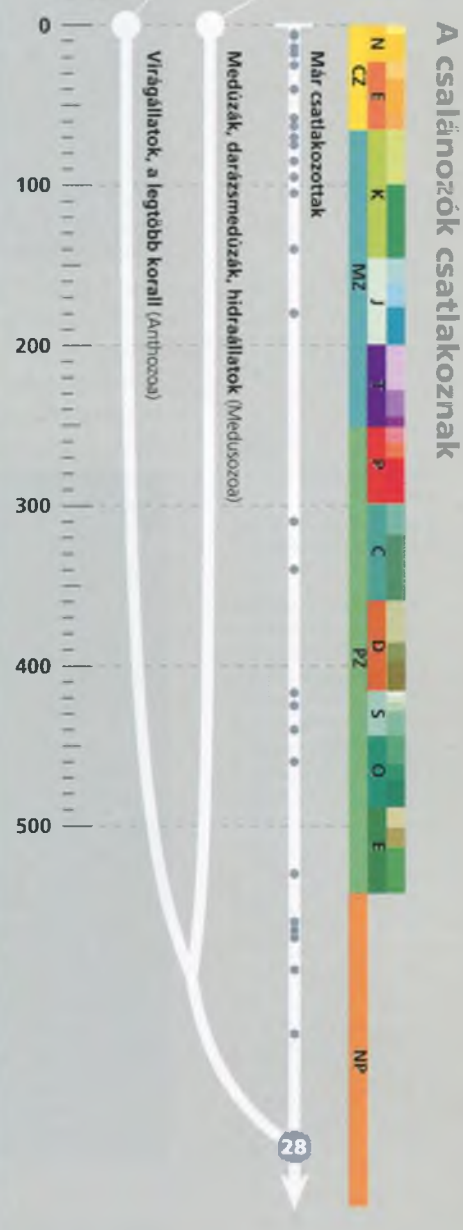
a kockamedúza, és sok nem is fájdalmas. Amikor megérintjük egy tengeri virágállat tapogatóit, a „csípő" érzés az ujjakon nem más, mint annak a sok száz apró szigonynak a karma, amelyek mindegyike virágállathoz rögzített, saját kis kötelének végén található.

A csalánozók szigonya talán az egész állatvilág legösszetettebb sejten belüli készüléke. Nyugalmi állapotban, kibocsátásra várva a szigony egy nyomás alatt álló (ozmotikus nyomás alatt, ha valaki kíváncsi a részletekre) feltekert fonál a sejt belsejében, amely a kilövésre vár. A csalántüske valójában egy, a csalánsejtből kiálló, apró szőrszál. Ennek érintésére a sejt felpattan, és a nyomás nagy erővel kilövi az egész feltekert készüléket, egyenesen az áldozat testébe, és belövelli a mérget. Az ily módon elsütött szigonysejt elhasználódik. Nem lehet újratölteni. De a legtöbb sejthez hasonlóan a csalánsejtek is állandóan újratermelődnek.



Valamennyi csalánozónak van, és csakis nekik van csalánsejtje. Ez a következő figyelemre méltó vonásuk: ők nyújtják azon igen kevés, teljesen egyértelmű példát, amikor egyetlen diagnosztikai jele van valamely főbb állatcsoportnak. Ha csalánsejt nélküli állatot látunk, akkor az nem csalánozó, ha viszont van csalánsejtje, akkor csalánozó. Valójában akad egy kivétel, és ennél találóbb esetét nem is kívánhatnánk a „kivétel erősíti a szabályt" tételnek. A puhatestűek közé tartozó tengeri csupaszkopoltyús csigáknak (csaknem az összes többivel együtt a 26. találkozáson csatlakoztak hozzánk) gyakran pompázatos színű tapogatók vannak a hátukon, amelyek olyan színűek, hogy távol tartsák az esetleges ragadozókat. Jó okból. Némely faj esetében ezek a tapogatók a valódi csalánozókéval azonos csalánsejteket tartalmaznak.





Viszont csalánsejtekre csak a csalánozóknál számítunk. Hogy is van ez? Mint mondtam, a kivétel erősíti a szabályt. Ezek a házatlan csigák medúzákat esznek, amelyekből a csalánsejtek épen és működőképesen átkerülnek saját tapogatóikba. Rekvirált fegyverekként azért képesek még tüzelni a tengeri házatlan csiga védelmében – ezért a rikító figyelmeztető szín.

A csalánozók testfelépítése kétféle lehet: polip és medúza. A tengeri virágállat és a *Hydra* tipikus polipok: helyhez kötöttek, a szájuk felfelé néz, a szemközti vég a talajhoz rögzül, mint valami növény. Tapogatóikat ingatva táplálkoznak. Az apró zsákmányt leszigonyozzák, majd a zsákmánnyal teli tapogatókat a szájhoz vonják. A tipikus medúza a harang lüktető izom-összehúzódásaival úszik a nyílt tengerben. A medúza szája az alsó oldal közepén található. A medúzát olyan polipnak is tekinthetjük, amely elszabadult a tengerfenékről, és megfordult az úszáshoz. Vagy a polipot tekinthetjük olyan medúzának, amelyik letelepedett a hátára, és a tapogatói kerültek felülre. Sok csalánozófajnak van polip és medúza formája is, nemzedékváltakozással váltakozva az életciklus során, akár a hernyó és a pillangó.

A polipok gyakran vegetatív sarjadzással szaporodnak, mint a növények. Egy új kispolip, amely az édesvízi *Hydra* oldalából sarjad, végül önálló egyedként – a szülő klónjaként – szakad le róla. A *Hydra* sok tengeri rokona cselekszik hasonlóképp, csak a klón nem válik le és kezd önálló életet, hanem rajta marad, és ággá alakul, mint egy növény esetében. Ezek a „telepes hidraállatok" (hidrozoa) újra és újra elágaznak, amiből könnyen megérthetjük, miért tartották őket növényeknek. Olykor többfajta polip nő egyazon polipfán, amelyek különböző feladatokra szakosodnak: táplálkozásra, védekezésre vagy szaporodásra. Poliptelepnek is elgondolhatjuk őket, de bizonyos értelemben ugyanannak az egyednek a részei, mert a fa egy klón: mindegyik polipnak azonosak a génjei. Az egyik polip által elkapott táplálékot a többiek is felhasználhatják, mert gyomorüregük teljesen egybefüggő. A fa ágai és fő törzse üreges csövekből áll, amelyeket közös gyomornak is elgondolhatunk – netán egy olyan keringési rendszernek, amely a mi véredényeinknek megfelelő szerepet töltik be. Némelyik polip apró medúzákat hajt, amelyek elúsznak, hogy ivarosan szaporodva távoli helyeken is szétszórják a szülő polipfa génjeit.



Régen növénynek vélték őket
Egy *Obelia* polip éppen medúzákat bocsát ki.

A Siphonophoráknak (telepes medúzák) nevezett csalánozórend a végletekig viszi a telepes életmódot. Olyan polipfaként képzelhetjük el őket, amelyek ahelyett, hogy egy sziklához vagy egy darab hínárhoz rögzülnének, vagy egyetlen, vagy egy csoport (természetesen a klónhoz tartozó) úszó medúzáról, vagy egy felszínen lebegő léghólyagról csüngenek le. A „portugál gályának", a *Physalia*nak hatalmas, gázzal teli léghólyagja van, melynek felső részén még egy függőleges vitorla is található. Alulról polipok és tapogatók szövevényes telepe lóg le róla. Nem úszik, hanem a szelek szárnyán változtat helyet. A kisebb *Velella* (vitor-

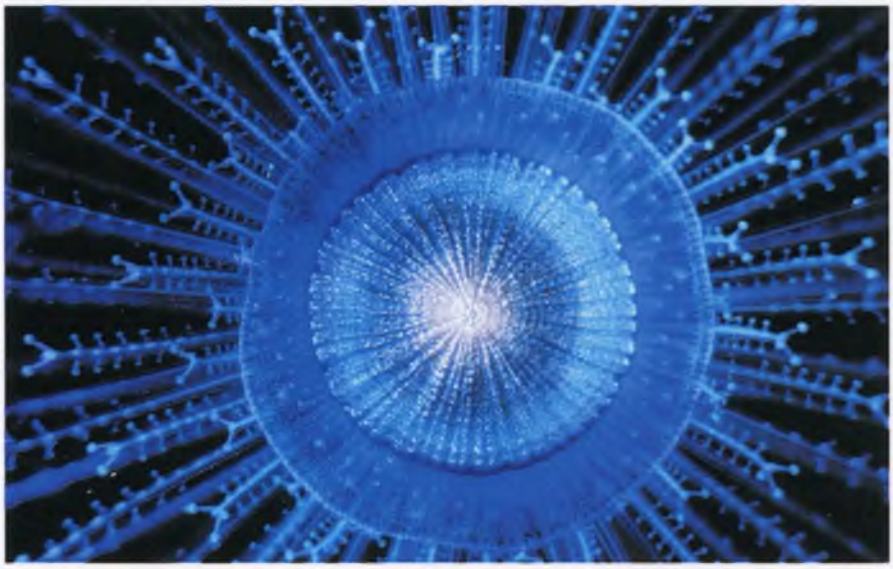
lásmedúza) egy diagonálisan elhelyezkedő, függőleges vitorlával ellátott lapos, ovális tutaj. Ez is a szél segítségét használja ki az elterjedésre, innét a 'vitorlás Jack' vagy a 'vitorlás matróz' jelentésű angol neve. A tengerparton gyakran bukkanhatunk kiszáradt, kis vitorlás tutajaikra, ahol általában elveszítik kék színüket, és olyanok, mintha fehéres műanyagból készültek volna. A *Velella* annyiban hasonlít egy igazi portugál gályára, hogy mindketten a szél szárnyán vitorláznak. A *Velella* és rokona, a *Porpita* (tutajmedúza) azonban mégsem telepes medúza, hanem erősen módosult polip, amely nem felfelé áll egy sziklán, hanem egy úszóhólyagról csüng alá.



Végletekig viszi a telepes életmódot
A „kékpalack medúza", a *Physalia utriculus* a Csendes- és az Indiai-óceánban élő portugálgályafaj. Ezernyi csalánsejtjének fullánkja erősen mérgező, az emberre halálos is lehet.

Sok telepes medúza képes állítani magasságát a vízben úgy, hogy gázt választ ki a léghólyagjába, vagy ereszt ki belőle, nagyjából úgy, ahogy a csontos halak is teszik úszóhólyagjaikkal. Némelyikük a lebegő és az úszó medúzák ötvözete, és mindegyikük rendelkezik lelógó polipokkal és tapogatókkal. E. O. Wilson, a szociobiológia megalapítója a szociális evolúció egyik csúcspontjaként taglalta a telepes medúzákat (a többiek közé a társas rovarok és emlősök, valamint mi tartozunk). Eszerint ez egy újabb olyan felsőfok, amit a csalánozóknak tulajdoníthatunk. Eltekintve attól, hogy mivel a telep tagjai klónok, vagyis genetikailag azonosak, egyáltalán nem világos, miért kellene őket inkább telepnek, semmint egyetlen egyednek nevezni.

A hidraállatok úgy tekintenek a medúzákra, mint a génjeiket alkalmanként az egyik állandó lakóhelyről a másikra juttató eszközökre. Azt is mondhatnánk, hogy



Szél szárnyán vitorlázik
A *(Porpita)* egy tapogatók övezte, gázzal telt, központi léghólyaggal rendelkezik. Ma már nem telepnek tartják, inkább egy erősen módosult polipnak, akárcsak közeli rokonát, a *Velellát*

a medúzák komolyan vették a medúzaszerű életmódot mint megélhetési lehetőséget. Velük szemben a korallok a letelepült életmód terén jutottak el olyan szélsőségig, hogy évezredekig egy helyben lakásra szolgáló, kemény, tartós házat építenek. Következzenek hát az ő meséik.

A MEDÚZA MESÉJE

A medúzák úgy utaznak az óceáni áramlásokkal, ahogy a 'vitorlás Jack', a *Velella* vitorlázik a szelek szárnyán. Nem üldözik zsákmányukat, ahogy egy barrakuda vagy egy tintahal tenné. Ehelyett hosszú, maga után húzott, felfegyverzett tapogatóikban bíznak, hogy azok elkapnak olyan planktonlakó lényeket, amelyek elég szerencsétlenek ahhoz, hogy beléjük botoljanak. A medúzák úsznak ugyan, a harang lagymatag szívdobbanásaival, de nem követnek semmiféle meghatározott irányt, legalábbis nem abban az értelemben, ahogy az irányt elgondoljuk. Megértésünket azonban korlátozzák kétdimenziós nyűgjeink, hiszen csak a föld színén vánszorgunk, és még ha a harmadik dimenzióba emelkedünk is, akkor is csak azért tesszük, hogy egy kissé gyorsabban vánszorogjunk a másik kettőben. Ám a tengerben a harmadik dimenzió a leginkább szembetűnő. Az utazás ebben a dimenzióban a leghatékonyabb. A mélységgel meredeken emelkedő nyomási gradiens mellett ott van a fény fokozatossága, amit a színegyensúly fokozatossága bonyolít. Ám a fény teljesen eltűnik, amint a nappal átadja helyét az éjszakának. Mint látni fogjuk, a planktonlakó állatok kedvenc mélysége a huszonnégy órás ciklussal együtt drámaian változik.

A második világháború idején a tengeralattjárókat fürkésző hangradarkezelőket meglepte egy olyan jelenség, ami hamis tengerfenéknek tűnt, és amely minden este a felszín felé emelkedett, hogy a következő reggelre visszasüllyedjen. Kiderült, hogy a planktonról van szó, parányi rákok és más lények millióiról, amint éjszakára a felszín közelébe emelkednek táplálkozni, hogy reggel visszasüllyedjenek. Miért tesznek így? A legjobb tippnek azt tűnik, hogy a napfényes órákban sebezhetők az olyan látással vadászó ragadozók számára, mint a halak és tintahalak, így napközben a mélység biztos sötétjébe húzódnak. Akkor viszont miért jönnek a felszínre éjszaka, hosszú utazás árán, amely bizonyára sok energiát emészt föl? A plankton egyik tanulmányozója ahhoz hasonlította ezt, mintha valaki 25 mérföldet gyalogolna oda és vissza, csakhogy megreggelizzék.

A felszínre látogatás oka az, hogy a táplálék végül is a növényeken keresztül a napból származik. A tenger felszíni rétegei háborítatlan zöld prérik, ahol a hullámzó zöld fű szerepét mikroszkopikus méretű, egysejtű algák alakítják. A táplálék végül is a felszínen található, és ugyanitt kell lenniük a legelészőknek, a legelészőket fogyasztóknak és a legelészők fogyasztóit fogyasztóknak is. Ám ha a látásra építve vadászó ragadozók miatt csak éjszaka biztonságos az ottlét, akkor éppen a napi vándorlás az, amire a legelészőknek és azok apró ragadozóiknak vállalkozniuk kell. És ők nyilvánvalóan így is tesznek. Maga a „préri" nem vándorol. Ha ennek bármi értelme volna, akkor az állatok áradatával szemben kellene úsznia, hiszen teljes létalapját az adja, hogy nappal megragadja a napfényt, és elkerülje azt, hogy megegyék.

Bármi is a magyarázata, a plankton legtöbb állata nappalra lefelé, éjszakára felfelé vándorol. A medúzák, de legalábbis közülük sokan úgy követik a nyájakat, mint a Mara vagy a Serengeti síkságain az oroszlánok és a hiénák a gnúkat. Ugyanakkor, az oroszlánokkal és a hiénákkal ellentétben a medúzák nem szemelnek ki egyedi zsákmányt, hiszen a találomra maguk után húzott tapogatók is jól járnak a nyájak követésével. Ebben kereshetjük egyik okát annak, amiért a medúzák úsznak. Némelyik faj ide-oda cikázva növeli meg a fogás hatáskörét, de megint csak nem egyedileg szúrják ki a zsákmányt, hanem csak ama halálos szigonyokkal felfegyverzett tapogatók hatáskörét növelik. Mások mindössze föl-le vándorolgatnak.

Egy másféle vándorlásról számoltak be a Palau-szigetek (amerikai gyarmat a nyugati Csendes-óceánban) Mercherchar nevű szigetének „Medúza-tavában" tömegesen élő medúzák kapcsán. A tó, amely föld alatti összeköttetésben áll a tengerrel, és ezért sós, hatalmas medúzapopulációjáról kapta a nevét. Többféle faj él itt, de a meghatározó a *Mastigias,* amelyből körülbelül 20 millió élhet a 2,5 kilométer hosszú és 1,5 kilométer széles tóban. Az éjszakát az összes medúza a tó nyugati felében tölti. Amikor keleten felkel a nap, valamennyien megindulnak felé, tehát a tó keleti felébe. Mielőtt elérnék a partot, érdekes, ám egyszerű oknál fogva állnak meg. A partot szegélyező fák vetnek mély árnyékot, és a medúzák napkereső robotpilótája most egyből a fényesebb nyugat felé vezérli őket. Amint azonban kiérnek a fák árnyékából, újból keletnek fordulnak.

Ez a belső konfliktus az árnyékszegély csapdájában tartja őket, ami azzal a következménnyel jár, hogy biztonságos távolságban maradnak (amiről puszta véletlennél nem merek többet feltételezni) a magát a partot szegélyező, veszélyes ragadozó tengeri virágállatoktól. Délután a medúzák követik a napot vissza a tó nyugati végébe, ahol az egész ármádiát megint a fák árnyékának vonala állítja meg. Amikor besötétedik, a tó nyugati felében úszkálnak le-föl, míg a hajnali nap vissza nem csá-



Medúzaarmada
Mastigias medúzák gyülekeznek a víz felszínén. Palau, Csendes-óceán

bítja automata vezérlőrendszerüket a keleti partokhoz. Nem tudom, mi hasznuk van ebből a figyelemre méltó, napi kétszeri vándorlásból. A közölt magyarázat oly kevéssé elégít ki, hogy nem érdemel ismétlést. Egyelőre a mesének legyen az a tanulsága, hogy az élővilág oly sok mindent kínál, amit *még* nem értünk, hogy az önmagában is érdekes.

A KORALLPOLIP MESÉJE

Valamennyi kialakulóban lévő élőlény követi a világ változásait: az éghajlat, a hőmérséklet, a csapadék változásait, és – ezeknél bonyolultabb, mert evolúciós időben mérhetően visszaütő – olyan egyéb, alakulófélben lévő vonalak változásait, mint például a ragadozóké és zsákmányaiké. Néhány alakulófélben lévő élőlény a puszta jelenlétével megváltoztatja azt a világot, ahol él, és amelyhez alkalmazkodnia kell. Az az oxigén, amit belélegzünk, nem volt itt, mielőtt a zöld növények ki nem bocsátották. Az először méregként ható oxigén gyökeresen megváltozott feltételeket teremtett, amelyeket a legtöbb állatcsaládnak először el kellett viselnie, aztán függésbe kényszerültek tőle. A fák rövid idő alatt érett erdőkben népesítették be azt a világot, amelyet maguk teremtettek, évszázadok alatt – ennyi idő alatt alakul át a terméketlen homok csúcserdővé. A csúcserdő természetesen emellett olyan összetett és gazdag környezet, amelyhez rengeteg egyéb növény- és állatfaj alkalmazkodott.

Mivel a *korall* szó mind az élőlényre, mind az általa épített kemény anyagra használatos, engedek pillanatnyi kedvemnek, és átveszem Darwintól a régi *korallpolip* szót a mesét elmesélő élőlény jelölésére. A korallszervezetek vagy korallpolipok több százezer év alatt alakítják át a világukat azzal, hogy saját korábbi, elhalt nemzedékeik vázai hatalmas víz alatti hegységeket építenek: hullámtörő gátakat. Mielőtt elpusztulnának, a korallok számtalan más korallal összefogva teremtik meg annak a világnak a feltételeit, amelyben a jövendő korallok élnek. És nem csupán a jövendő korallok, hanem egyéb állatok és növények hatalmas és szövevényes közösségeinek jövendő nemzedékei is. A közösség gondolata lesz alighanem e mese legfőbb üzenete.



SAJÁT KORÁBBI, ELHALT NEMZEDÉKEIK VÁZÁRA ÉPÍTKEZNEK
Korallpolipok *(Diploastrea)*

A szemközti képen a Nagy-korallzátony egyik tagja, a Heron-sziget látható, ahol magam is jártam (kétszer). A kis sziget innenső végén elszórtan álló házak sejtetik a méretarányokat. A szigetet övező hatalmas halvány térség maga a zátony, amelynek a sziget csupán a legmagasabb csúcsa, amit összetört korallból álló homok borít (melynek nagy része áthaladt a halak bélcsatornáján), és ezt korlátozott változatosságú vegetáció és az azon élő hasonlóan korlátozott szárazföldi állatfauna népesíti be. Olyan tárgyként, amelyet teljes egészében élőlények építettek, a korallzátonyok nagyok, és a mélyfúrások kimutatták, hogy némelyikük több száz méter vastag. A Heron-sziget csak egyike annak a több mint ezer szigetnek és csaknem háromezer zátonynak, amelyekből az Ausztráliától északnyugatra 2000 kilométer hosszan átívelő Nagy-korall-



Nem sok állat mondhatná el, hogy újrarajzolta a világtérképet
A Heron-sziget a Nagy-korallzátonyon

zátony áll. A Nagy-korallzátonyról gyakran mondják – mennyi igazsággal, nem tudom –, hogy méreténél fogva a bolygónkon virágzó élet egyedüli olyan bizonyítéka, amely az űrből is látható. Azt is mondják, a világ tengeri élőlényeinek 30 százaléka talál itt otthonra, de hogy ez mit jelent, nem igazán tudom – vajon mit számoltak össze? Nem baj, a Nagy-korallzátony így is mindenképpen figyelemre méltó jelenség, amit teljes egészében a koralloknak vagy korallpolipoknak nevezett, kis tengeri virágállatszerű állatok építettek. Az élő korallpolipok csak a korallzátonyfelső rétegét borítják. Alattuk némely óceáni atoll esetében több száz méter mélységben őseik mészkővé összeállt vázai helyezkednek el.

Manapság csak a korallok építenek zátonyokat, de korábbi geológiai korszakokban nem voltak ilyen monopolhelyzetben. Zátonyokat különböző korokban algák, szivacsok, puhatestűek és csöves férgek is emeltek. Úgy tűnik, hogy a korallorganizmusok nagy sikere a mikroszkopikus algákkal való társulásukból fakad, amelyek sejtjeik belsejében élnek, és a korallok végső javára fotoszintetizálnak a napos, sekély vizekben. Ezeknek a Zooxanthellaenek nevezett algáknak a fény befogásához számos különböző színű színtestük van, amelyek a korallzátonyok élénken fotogén megjelenéséért felelősek. Nem meglepő, hogy a korallokat korábban növénynek vélték. Táplálékuk nagy részét a növényekhez hasonlóan nyerik, és a fényért is a növényekhez hasonlóan versengenek. Csak arra lehet számítani, hogy hasonló alakot is öltenek. Emellett küzdelmük, hogy elnyomjanak, és ne őket nyomják el, arra vezet, hogy az egész korallközösség erdei lombsátorszerű külsőt ölt. Ugyancsak az erdőkre hasonlítanak abban, hogy a korallszigetek más élőlények hatalmas közösségének is otthonai.

A korallszigetek jelentősen megnövelik valamely terület „ökológiai terét". Kollégám, Richard Southwood így fogalmazza ezt meg a *The Story of Life* (Az élet története) című könyvében:

> Ahol egyébként szikla vagy homokfelület lenne fölötte vízoszloppal, ott a zátony bonyolult háromdimenziós szerkezetet biztosít, roppant mennyiségű többlet felülettel, rengeteg hasadékkal és kis üreggel.

Az erdők valami hasonló dolgot művelnek akkor, amikor felduzzasztják a biológiai tevékenységhez és kolonizációhoz rendelkezésre álló tényleges felületet. A megnövelt ökológiai tér éppen az, amit az összetett ökológiai közösségektől várunk. A korallzátonyok roppant változatosságú állatseregletnek adnak otthont, amely a rendelkezésre álló hatalmas ökológiai térnek minden zugába befészkeli magát.

Valami hasonló megy végbe egy test szerveiben is. Az emberi agy bonyolult tekervényekkel növeli meg hatékony területét – és így működési kapacitását. Talán nem véletlen, hogy az agykorall oly meghökkentően hasonlít rá.

Maga Darwin volt az első, aki megértette, hogyan képződnek a korallzátonyok. Bemutatkozó tudományos könyve (amely útikönyvet, a *Beagle útja* után jelent meg), a *Coral Reefs* (Korallzátonyok) éppen erről szóló értekezés volt, amit mindössze 33 évesen publikált. Íme, Darwin problémája, ahogyan azt ma látjuk, bár ő nem fért hozzá a probléma felvetésére vagy megoldására vonatkozó legtöbb információhoz. Darwin a korallzátony elméletében éppoly meghökkentően előrelátó volt, mint a természetes kiválasztásról és a szexuális kiválasztásról szóló híresebb elméleteiben.



Meghökkentő hasonlóság
Szimmetrikus agykorall
(Diploria strigosa)

A korallok csak sekély vízben képesek élni. A sejtjeikben lévő algákra szorulnak, és az algáknak természetesen fényre van szükségük. A sekély víz ugyancsak kedvező a planktoni zsákmánynak, amellyel a korallok kiegészítik étrendjüket. A korallok a partvonalak lakói, ezért a trópusi partok mentén sekély „szegélyzátonyokat" találunk. Ám ami a korallokban elgondolkodtató, az az, hogy ugyanakkor nagyon mély vizekben is megtalálhatók. Az óceáni korallszigetek olyan hatalmas víz alatti hegységek csúcsai, amelyeket elpusztult korallnemzedékek alkottak. A korallszirtek átmeneti kategóriát jelentenek: ezek is a partvonalat követik, de a szegélyzátonyoknál távolabb fekszenek a parttól, amelytől mély víz választja el. Az élő korallok még a mély óceánban teljesen elszigetelt, távoli korallszigetek esetében is mindig a sekély vízben, a fény közelében találhatók, ahol ők és algáik elboldogulnak. Ám a víz csak az alattuk lévő, korábbi korallnemzedékek jóvoltából sekély.

Mint mondtam, Darwin nem volt a probléma terjedelmének felméréséhez szükséges valamennyi információ birtokában. Ma csupán abból tudjuk, hogy a korallatollok az ősi korallok alkotta víz alatti hegységek csúcsai, hogy az emberek lefúrtak a zátonyokba és nagy mélységekben is egybefüggő korallt találtak. A Darwin korában uralkodó elmélet szerint az atollok éppen csak a víz színe alatt fekvő víz alatti vulkánok csúcsát borító felületi bevonatot képeznek. Ezen elmélet szerint nem volt megoldandó probléma. A korallok csak sekély vízben élnek, és a vulkánok nyújtják nekik azt az ülőhelyet, amelyen megtelepedve sekély vizet találnak. Darwin azonban ezt nem hitte el, még úgy sem, hogy nem tudhatott a holt korall vastagságáról.

Darwin második látnoki tette maga az elmélet volt. Azt vetette föl, hogy a tengerfenék az atollok közelében folytonosan süllyed (míg másutt emelkedik, amit

saját tapasztalatából is tudott, hiszen tengeri kövületeket talált magasan az Andokban).* Darwin azzal állt elő, hogy amint a tengerfenék lesüllyed, magával viszi a korallhegyet is. A korallok a süllyedő víz alatti helyek csúcsain nőnek, és úgy tartanak lépést a süllyedéssel, hogy a csúcs mindig a tenger felszínének közelében marad a fény és a bőség zónájában. Maga a hegy elhalt korallok rétegeiből áll, amelyek egykor a napon virágoztak. A víz alatti hegy aljánál lévő, legrégibb korallok talán valami rég elfeledett part vagy kialudt vulkán szegélyzátonyaként kezdték. Ahogy a szárazföld lassan alámerült a vízbe, a korallokból szirt lett, melynek távolsága a süllyedő partvonaltól egyre növekedett. További alámerüléssel az eredeti szárazföld végképp eltűnt, és a korallszirt vált a víz alatti hegy további növekedésének alapjává, amíg a süllyedés folytatódik. A távoli óceáni korallszigetek hasonló módon alámerülő vulkánok peremén megtelepedett korallokból indultak. Darwin elmélete ma is érvényes azzal a kiegészítéssel, hogy az alámerülést a lemeztektonika magyarázza.

* Mindez természetesen jóval megelőzte a lemeztektonika elméletét. Darwint mentora, a geológus Charles Lyell ösztönözte, aki úgy vélte, hogy a Föld egyes részei egymáshoz viszonyítva emelkednek vagy süllyednek.

Egy korallzátony a csúcsközösség tankönyvi példája, és ez lesz a csúcspontja a korallpolip meséjének is. Egy közösség olyan fajok együttese, amelyek úgy alakultak ki, hogy egymás jelenlétéből boldoguljanak. Közösség egy esőerdő. Ugyanígy egy mocsár vagy egy korallzátony. Gyakran a világ különböző részein ugyanolyan fajtájú közösségek szökkennek szárba egymással párhuzamosan, ahol az éghajlat nekik kedvez. A „mediterrán" közösségek nemcsak a Földközi-tenger környékén alakultak ki, hanem Kaliforniában, Chilében, Délnyugat-Ausztráliában és Dél-Afrika fokföldi térségében is. Az öt fenti térségben éppenséggel megtalálható növényfajok eltérők, de maguk a növényközösségek éppúgy jellegzetesen „mediterránok", mint ahogy mondjuk Tokió és Los Angeles is felismerhetően „városi övezet". És a mediterrán növényzethez éppoly jellegzetes fauna is társul.

Ilyenek a trópusi zátonyközösségek is. Részleteikben eltérők, de lényegükben azonosak, mindegy, hogy a Dél-Csendes-óceánról, a Vörös- vagy a Karib-tengerről van-e szó. Vannak mérsékelt övi zátonyok is, amelyek némileg különbözők, de egy igen jellegzetes dologban mindkettő közös, mégpedig a tisztítóhalak figyelemre méltó jelenségében, amelynek csodája szimbolizálja azt a fajta kifinomult intimitást, amely egy ökológiai csúcsközösségben kialakulhat.



Ökológiai csúcsközösség Zátonyközösség a Maldív-szigeteken, az előtérben hosszúállkapcsú tüskéshalakkal *(Sargocentron spiniferum)*.

Számos kis hal és rák bonyolít virágzó üzletet azzal, hogy leszedegetik a tápláló parazitákat vagy nyálkát a nagyobb halak testfelszínéről, sőt olykor a szájukba is behatolnak, ahol lecsipkedik a fogakat, majd a kopoltyúkon át távoznak. Mindez a „bizalom" meglepő szintjét bizonyítja, ám ezúttal a tisztogatóhal a közösségen belüli „szerep"

példájaként érdekel.* Az egyes tisztogatóknak általában van egy „tisztítóműhelyük", ahová a nagyobb halak eljárnak kezelésre. Ennek előnye feltehetőleg mindkét fél számára abban az időmegtakarításban rejlik, amit egyébként tisztogató vagy ügyfél keresésére kellene fordítani. A helyhez kötöttség lehetővé teszi az ismétlődő találkozást az egyes tisztogatók és ügyfeleik között, ami hozzásegít a mindennél fontosabb „bizalom" kialakulásához. Ezeket a tisztítóállomásokat a borbélyműhelyhez hasonlították. Azt is állították – bár ennek bizonyítékait újabban vitatják –, hogy ha valamennyi tisztogatóhalat eltávolítanának egy korallzátonyról, akkor a zátony halainak egészségi állapota meredeken romlana.

* Érdekes a kialakuló „bizalom" evolúciós problémája, de ezzel a kérdéssel már foglalkoztam *Az önző génben*, és nem kívánom itt ismételgetni magamat.

A világ különböző részein a helyi tisztogatóhalak egymástól függetlenül, különböző halcsoportokból alakultak ki. A karibi zátonyokon a tisztogató szakmát többnyire a géb család tagjai gyakorolják, jellegzetesen kis csoportokat alkotva. A Csendes-óceánban viszont az ajakoshal *(Labroides)* a legismertebb tisztogató. A *L. dimidiatus* napközben tartja nyitva a „borbélyműhelyét", míg a *L. bicolor* – George Barlow közlése szerint, aki berkeleyi napjaimban volt kollégám – látja el az éjszakai halak céhét, akik napközben az üregekben találnak menedéket. Az ilyen fajok közötti munkamegosztás az érett ökológiai közösségek jellemzője. Barlow professzor könyve, a *Cichlid Fishes* (Bölcsőszájú halak) olyan édesvízi halak példáit közli az afrikai nagy tavakból, amelyek konvergens lépéseket tettek a tisztogató életmód irányába.



Bizalom a tengeri borbélyműhelyben
Tisztogatóhalak munkálkodnak egy rózsás íjhalon *(Parupeneus rubescens)* a Vörös-tengerben.

A trópusi korallzátonyok tisztogatóhalai és „ügyfeleik" közti együttműködés csaknem fantasztikus szintje szimbolizálja azt, ahogyan az ökológiai közösségek olykor utánozni képesek az egyedi organizmusok bonyolult harmóniáját. A hasonlóság megtévesztő – túlzottan is megtévesztő. A növényevők a növényektől, a húsevők a növényevőktől függnek, ragadozók nélkül a populációk mérete mindenki számára végzetes eredményt hozva, féktelenül elszabadulna; hulladékeltakarítók nélkül, mint a temetőbogár vagy a baktériumok, a világ dögöktől bűzlene, és a trágya soha nem kerülne vissza a növényekbe. Bizonyos „kulcsfontosságú" fajok nélkül, amelyek kiléte olykor meglehetősen meglepő, az egész közösség „összeomlana". Nagy csábítást jelent úgy tekinteni az egyes fajokra, mint a közösség szuperorganizmusának szerveire.

Ha a világ erdeiről azt mondjuk, hogy „tüdők", azzal nem ártunk, sőt még használhatunk is, ha az embereket ezzel az erdők védelmére ösztönzünk. Ám a holisztikus harmónia retorikája bugyuta, Károly herceg-féle miszticizmusba süppedhet. A „természet egyensúlyának" eszméje valójában gyakran ugyanazokat az üresfejűeket vonzza, akik kuruzslókhoz járnak „energiamezőik kiegyenlítése" miatt. Lényeges különbség van viszont aközött, ahogyan a testi szervek és egy közösség fajai a maguk területén együttműködnek a harmonikus egész látszatának megteremtésében.

A párhuzamot nagyon óvatosan kell kezelni. Mégsem teljesen alaptalan. Az egyedi szervezetekben is van ökológia, a fajok génállományának génközössége. Azok az

erők, amelyek harmóniát teremtenek egy organizmus testrészei között, nem teljesen mások, mint azok, amelyek egy korallzátony fajai közti harmónia illúzióját keltik. Van egyensúly az esőerdőben, szerkezet és az alkotórészek kifinomult hálózata a zátonyközösségben, amely egy állat testén belüli együttes alkalmazkodást idézi föl. A darwini szelekció egyik esetben sem *egységként* biztosít előnyt a kiegyensúlyozott egységnek. Az egyensúly mindkét esetben alacsonyabb szintű kiválasztás révén áll elő. A kiválasztás nem a harmonikus egésznek kedvez. Inkább harmonikus részek boldogulnak egymás jelenlétében, és ezáltal támad a harmonikus egész illúziója.

A húsevők a növényevők jelenlétében boldogulnak, míg a növényevők a növények jelenlétében. Ám mi a helyzet fordítva? A növények boldogulnak a növényevők jelenlétében? A növényevők boldogulnak a húsevők jelenlétében? Vajon az állatoknak és növényeknek megehető ellenségekre van szükségük a boldoguláshoz? Nem olyan magától értetődő módon, ahogy némely ökológiai aktivista retorikája felvetette. Nincs olyan lény, amelynek normális esetben javára válik, ha megeszik. Ám a fűfélék, amelyek jobban kibírják, ha lelegelik őket, mint a vetélytárs növények, az „ellenségem ellensége" elv alapján valóban boldogulnak a növényevők jelenlétében. Nagyjából hasonló történetet lehetne elmondani a paraziták áldozatairól – és a ragadozókról, bár itt a történet szövevényesebb. Továbbra is félrevezető, ha azt mondjuk, hogy egy „közösségnek" éppúgy van szüksége a parazitákra és a ragadozókra, mint egy jegesmedvének a májára vagy a fogaira. Viszont az „ellenségem ellensége" elv mégis valami hasonló eredményre vezet. Helyes lehet, ha a korallzátonyhoz hasonló fajközösségre úgy tekintünk, mint olyasféle kiegyensúlyozott egységre, amelyet potenciálisan veszélyeztet az, ha eltávolítjuk alkotórészeit.

A közösségnek ez az egymás jelenlétében boldoguló, alsóbb szintű egységekből felépülő elve áthatja az életet. Még egyetlen sejten belül is ez az elv érvényesül. A legtöbb állati sejt a működésébe oly átfogóan illeszkedő baktériumközösségeknek ad otthont, hogy baktériumeredetüket csak legújabban értettük meg. A hajdan szabad baktériumként élő mitokondriumok annyira lényegesek a sejtjeink működéséhez, mint sejtjeink az ő működésükhöz. Génjeik a mi génjeink jelenlétében virágoztak, éppúgy, mint a mieink az övékében. A növényi sejtek önmagukban képtelenek a fotoszintézisre. Ezt a vegyi varázslatot a baktériumeredetű, de színtesteknek átcímkézett vendégmunkások végzik. A növényevők, így a kérődzők és a termeszek önmagukban nagyrészt képtelenek megemészteni a cellulózt. Viszont értenek a növények megtalálásához és megrágásához (lásd *A Mixotricha meséjét*). Azt a piaci rést, amit növénnyel teli bélcsatornája kínál, szimbionta mikroorganizmusok aknázzák ki, amelyek rendelkeznek a növényi anyag hatékony emésztéséhez szükséges kémiai szakértelemmel. A kiegészítő jártasságokkal rendelkező élőlények virágoznak egymás jelenlétében.

Ehhez az ismert tényhez azt szeretném hozzáfűzni, hogy ez a folyamat tükröződik minden faj „saját" génjeinek a szintjén is. Egy jegesmedve, egy pingvin, egy kajmán vagy egy guanakó egész genomja olyan gének ökológiai közössége, amelyek virágoznak egymás jelenlétében. E virágzás közvetlen színtere az egyes sejtek belseje. Ám a hosszú távú színtér a faj génállománya. Az ivaros szaporodás mellett a génállomány a nemzedékek során át újramásolt és újra összeállt gének élőhelye.

29. TALÁLKOZÁS ■ BORDÁS MEDÚZÁK

29

A 29. találkozáson hozzánk csatlakozó bordás medúzák (Ctenophora) között található az összes állatzarándok legszebb példányainak némelyike. A felületes hasonlóság miatt tévesen a medúzák közé sorolták be őket. Régebben ugyanabba a törzsbe, az űrbelűek közé (Coelenterata) helyezték őket, amellyel közös tulajdonságukat hangsúlyozták, vagyis azt, hogy fő testüregük egyúttal emésztőkamra is. A csalánozókhoz hasonlóan ugyancsak egyszerű idegrendszerük van, és hasonlóan (bár vitathatóan) csak két szövetrétegből épülnek föl. A modern bizonyítékok egyenlege azonban azt mutatja, hogy a csalánozók közelebbi unokatestvéreink nekünk, mint a bordás medúzáknak, vagy másképp szólva: a csalánozók a bordás medúzák „előtt" csatalakoznak a zarándoklathoz. Ebben azonban nem vagyok annyira biztos, hogy az esemény időpontját megjelöljem.

TÚL JÓ EGY ISTENNŐNEK
Vénusz-öv *(Cestum veneris)*

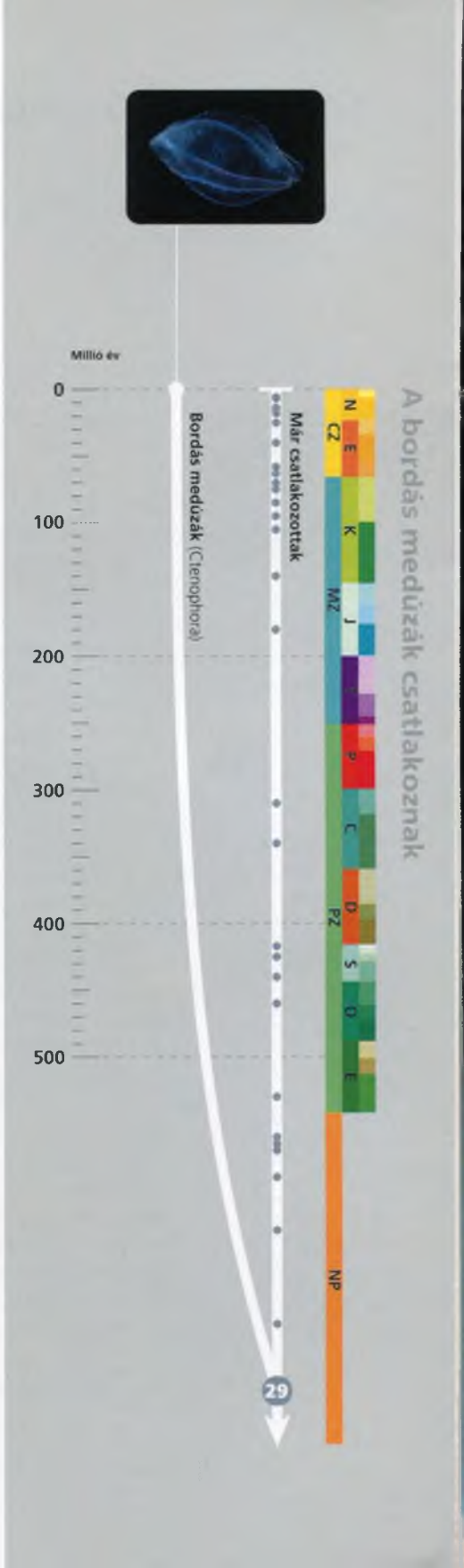


A BORDÁS MEDÚZÁK CSATLAKOZNAK
A kétoldali szimmetriájú állatokat a csalánozókkal és a bordás medúzákkal együtt olykor „Eumetazoának" nevezik. Némely molekuláris tanulmányt követve a bordás medúzák 80 ismert faját itt a többi állat legtávolabbi rokonaiként tüntettük föl, de ez az elhelyezés nem bizonyos.

KÉP: kucsmamedúza (*Beroe*-faj)

A görög *ktenophórosz* szó jelentése 'fésűt viselő'. A „bordák" vagy „fésűk" a haszerű csillók szembetűnő soraira vonatkoznak, ezek lüktetése hajtja e törékeny lényeket a pulzáló izmok helyett, amelyek ugyanezt a feladatot látják el a felületesen hasonló medúzáknál. Nem valami gyors módja ez az előrehaladásnak, de vélhetően megfelel, ha nem is a zsákmány üldözésének, de a fogási arány medúzákéhoz hasonló közvetett javításának. Az angolban a medúzákkal *(jelly)* való hasonlóságuk és finom, zselészerű felépítésük miatt „fésűs zselének" *(comb jelly)* nevezik. Nincs sok fajuk – talán vagy száz –, de egyedeik száma nem alacsony, és a világ óceánjait mindenütt díszítik –, bármilyen szabvány szerint nézzük is. Az összehangolt mozgás hullámai a bordák sorait titokzatos szikorkázással töltik fel.

A bordás medúzák ragadozók, de a medúzákhoz hasonlóan a tapogatóikba véletlenszerűen belebotló zsákmányra építenek. Bár tapogatóik úgy néznek ki, mint a medúzáké, nincsenek csalánsejtjeik. Vannak viszont saját gyártmányú „lasszósejtjeik", amelyek hegyes, mérgező szigonyok helyett egyfajta ragasztót bocsátanak ki. Némelyikük egyáltalán nem harang alakú. Az elragadóan gyönyörű *Cestum veneris* azon ritka állatok közé tartozik, amelyek angol és latin (és magyar) neve azonos jelentésű, ez esetben Vénusz-öv. Nem is csoda: a test egy hosszú, csillámló, éterien gyönyörű szalag, amely túl jó is lenne egy istennőhöz. Megjegyzem, hogy bár a Vénusz-öv hosszú és vékony, mint egy féreg, ennek a „féregnek" nincs sem feje, sem farka, hanem középütt tükröződik, ahol a száj – az övcsat – található. Teste sugarasan (vagy inkább kétsugarasan) szimmetrikus.



30. TALÁLKOZÁS ■ KORONGÁLLATKÁK

30

Van itt egy talányos kis állat, a *Trichoplax adhaerens*, amely az egyetlen ismert faja egy egész törzsnek, a Placozoának – ami persze nem szükségszerűen jelenti azt, hogy az egyedüli. Meg kell említeni, hogy 1896-ban leírtak egy, a Nápolyi-öbölből előkerült másik fajt is, amit *Treptoplax reptans*nak neveztek el. Többé azonban nem került elő, és a legtöbb szakértő úgy gondolja, az a bizonyos példány maga is *Trichoplax* volt. A molekuláris bizonyítékok esetleg hamarosan újabb fajokra deríthetnek fényt.

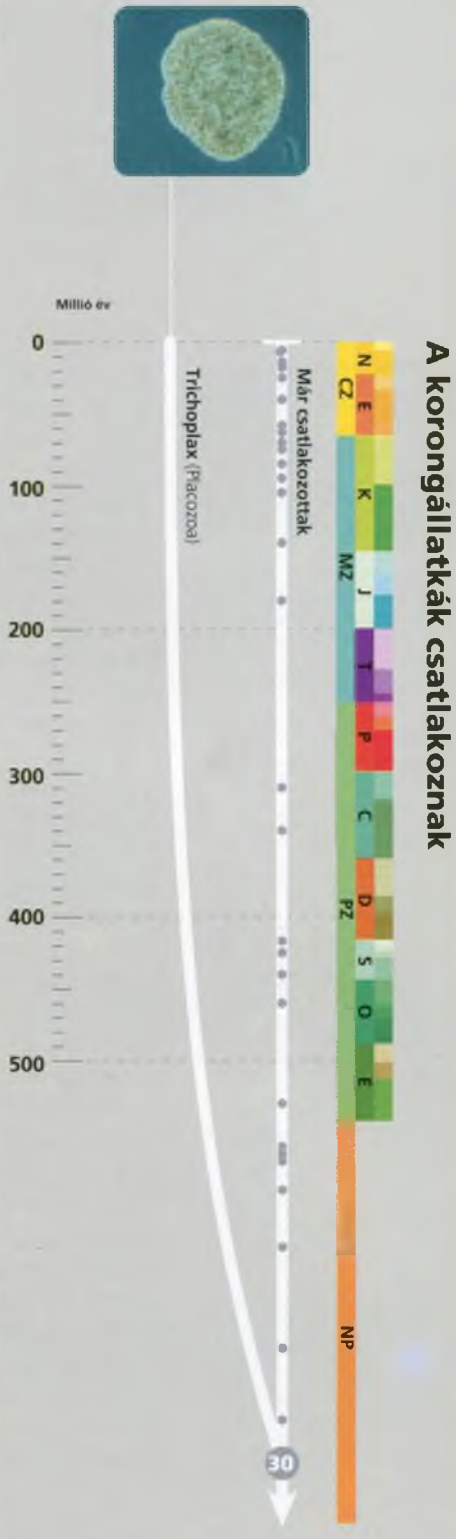
A *Trichoplax* a tengerben él, és nemigen hasonlít semmi egyébre; nem is szimmetrikus semmilyen irányban, hanem némileg az amőbára hasonlít, eltekintve attól, hogy sok sejtből, nem csak egyből áll. Egy kissé olyan, mint egy parányi laposféreg, eltekintve attól, hogy nincs sem első, sem hátsó része, sem bal, sem jobb oldala. A *Trichoplax*, ez a parányi, szabálytalan alakú, talán három milliméter átmérőjű szőrcsomó, a víz színén mászik a kapálódzó csillószőrökből álló fordított szőnyegen. Még magánál is kisebb, egysejtű élőlényeket fogyaszt, főként algákat, amelyeket alsó felületén emészt meg anélkül, hogy a testébe kerülnének.

Anatómiájában nem sok olyan vonás akad, ami a *Trichoplax*ot bármely állathoz is hasonlítaná. Két fő sejtrétege van, akár a csalánozóknak vagy a bordás medúzáknak. A két fő réteg közé szorítva található néhány összehúzódó sejt, amelyek működése legközelebb az izmokéhoz áll. Az állat az alakjának megváltoztatásához megrövidíti ezeket a sejteket. Szigorú értelemben a két sejtréteget talán nem is nevezhetjük hátoldalinak vagy hasinak. A felső réteget néha védőnek, az alsót emésztőnek hívják. Néhány szerző szerint az emésztő réteg begyűrődve emésztési célból ideiglenes üreget képez, ám nem mindegyik megfigyelő látta ezt, s talán nem is igaz.

A *Trichoplax* története a zoológiai irodalomban meglehetősen zavaros, ahogy arról T. Syed és B. Schierwater egy közelmúltbeli tanulmányában beszámol. 1883-as felfedezésekor a *Trichoplax*ról azt gondolták, hogy nagyon primitív; mára ismét visszanyerte ezt a tiszteletre méltó státusát. Sajnos felületesen hasonlít bizonyos csalánozók úgynevezett planula lárvájára. 1907-ben egy Thilo Krumbach nevű német zoológus úgy vélte, hogy *Trichoplax*ot lát ott, ahol korábban planulalárvát látott, ezért módosult planuláknak tekintette ezeket a kis lényeket. Ez nem is számított volna túl sokat, ha 1922-ben meg nem hal W. Kükenthal, az iránymutató, sokkötetes *Handbuch der Zoologie* szerkesztője. A *Trichoplax* szerencsétlenségére Kükenthal szerkesztői munkáját Thilo Krumbach vette át. A *Trichoplax*ot a Kükenthal & Krumbach annak rendje és módja szerint csalánozóként hirdette ki, és így vette át a mű francia megfelelője is, a P. P. Grassé szerkesztette *Traité de Zoologie* is (Grassé történetesen sokáig szimpatizált az antidarwinizmussal, miután már rég meg kellett volna gondolnia magát).

A KORONGÁLLATKÁK CSATLAKOZNAK Akárcsak a 28. és 29. találkozás esetében, a 30. és 31. találkozás sorrendje is meglehetősen megoldatlan. A 30. találkozásra a korongállatkákkal kerülhetett sor (amelyeket egyetlen faj, a *Trichoplax* képvisel), de az ekkor érkezők akár a szivacsok is lehettek. Jelenleg ez a beosztás alapvetően tetszőleges. Egyáltalán nem keltene meglepetést, ha a 30. és 31. találkozás sorrendjét fel kellene cserélni.

KÉP: *Trichoplax adhaerens*



Ezt vette át a *Handbuch*ból Libbie Henrietta Hyman, a vezető amerikai sokkötetes kézikönyv, az *Invertebrates* (Gerinctelenek) szerzője is.

A sokkötetes szaktekintélyek által legyőzetvén, ugyan mi esélye maradt szegény *Trichoplax*nak, főként úgy, hogy magát az állatot több mint fél évszázadig senki sem vizsgálta meg? Állítólagos csalánozólárvaként sorvadozott egészen addig, amíg a molekuláris forradalom lehetőséget nem nyitott valódi rokoni viszonyainak megállapítására. Bármi legyen is, az biztos, hogy nem csalánozó. A rRNS-vizsgálatok előzetes utalásai szerint (lásd *A Taq meséjét*) a *Trichoplax* a szivacsok kivételével minden más csoportnál távolabb áll az állatvilág többi részétől, de talán még a szivacsok is közelebb álnak hozzánk, mint a *Trichoplax*. A *Trichoplax*nak van minden többsejtű állat közül a legkisebb genomja és a legegyszerűbb testfelépítése. Testében csupán négyféle sejttípus található, szemben a mi több mint kétszázunkkal. Ezenkívül, úgy tűnik, mindössze egyetlen Hox-génje van.

A molekuláris genetikai bizonyítékok ideiglenesen azt jelzik, hogy ez a magányos kis zarándok a 30. találkozáson talán 780 millió éve, a szivacsok „előtt" csatlakozott hozzánk. Ám ez valóban csak találgatás. Meglehet, hogy a 30. és 31. találkozás sorrendje fordított volt, mely esetben a *Trichoplax* a legtávolabbi unokatestvérünk a valódi állatok között. Érthető módon újabban erősen lobbiznak annak érdekében, hogy a *Trichoplax* is kerüljön azon válogatott élőlény társaságába, amelynek genomját teljesen sorba állították. Azt hiszem, ez hamarosan megtörténik, és ez esetben nemsokára megtudjuk, valójában mi is ez a furcsa kis lény.

31. TALÁLKOZÁS ■ SZIVACSOK

31

A szivacsok a Metazoák, vagyis a valódi soksejtű vagy sejthalmazos állatok utolsóként hozzánk csatlakozó tagjai. A szivacsokat nem mindig méltatták a Metazoa névre, hanem „Parazoaként" (álszövetes) – az állatvilág másodosztályú polgáraiként – írták le őket. Manapság ugyanezt az osztályozást istápolgatják, akkor amikor a szivacsokat a Metazoák közé helyezik ugyan, de megalkották az Eumetazoa (valódi szövetes állatok) kifejezést a szivacsok *kivételével* az összes többi jelölésére.*

* Némely szerző a *Trichoplax*ot, a 30. találkozáson megismert kis állatot sem sorolja közéjük.

Akadnak olyan emberek, akik meglepve hallják, hogy a szivacsok állatok, és nem növények. A növényekhez hasonlóan nem mozognak. Illetve, nem az egész testükkel mozognak. Sem a növényeknek, sem a szivacsoknak nincsenek izmaik. A sejtek szintjén van mozgás, de ez a növényekre is igaz. A szivacsok abból élnek, hogy szüntelenül vizet áramoltatnak át a testükön, amelyből kiszűrik a tápanyagrészecskéket. Ennek következtében teli vannak lyukakkal, és ez teszi őket oly alkalmassá arra, hogy a fürdőszobában megtartsák a vizet.

A fürdőszivacs azonban nem ad jó képet a tipikus testformáról, amely egy üreges korsó, a tetején egy nagy nyílással és sok apróbb lyukkal az oldalán. Miként azt könnyen megítélhetjük abból, ha egy kis festéket teszünk az élő szivacs korsóját övező vízbe, a vizet az oldalsó apró lyukain szívja be, melyeken át a belső főüregbe kerül, és onnan a korsó főnyílásán át áramlik ki. A vizet úgynevezett galléros ostoros sejtek (choanociták) hajtják, amelyek a szivacs kamráinak és járatainak falát borítják. Minden choanocitának van egy hullámzó ostora (olyan, mint a csillószőr, csak hosszabb), amit egy mély gallér vesz körül. Később újra találkozunk a galléros ostoros sejtekkel, mivel evolúciós történetünk szempontjából fontosak.

A szivacsoknak nincs idegrendszerük, és viszonylag egyszerű a belső felépítésük. Bár több különféle sejtjük van, azok nem szerveződnek szövetekké és szervekké, mint bennünk. A szivacssejtek „totipotensek", ami azt jelenti, hogy minden sejt képes arra, hogy a szivacs repertoárjának bármely sejttípusává változzék. Ez nem igaz a mi sejtjeinkre. Egy májsejt nem képes átalakulni vesesejtté vagy idegsejtté. Ám a szivacssejt olyannyira rugalmas, hogy bármely elszigetelt sejt képes új szivacsot növeszteni (és még több is van ebben, mint *A szivacs meséjé*ből kiderül).

Nem meglepő tehát, ha a szivacsok nem tesznek különbséget a „csíravonal" és a „szóma" között. Az Eumetazoákban a csíravonalsejtek azok, amelyek képesek létrehozni a szaporítósejteket: génjeik ezért elvileg halhatatlanok. A csíravonalhoz a sejtek elenyésző kisebbsége tartozik, amelyek a petefészekben vagy a herékben tanyáznak, és semmi egyéb dolguk nincs, mint a szaporodás. A szóma a testnek az a része, amely

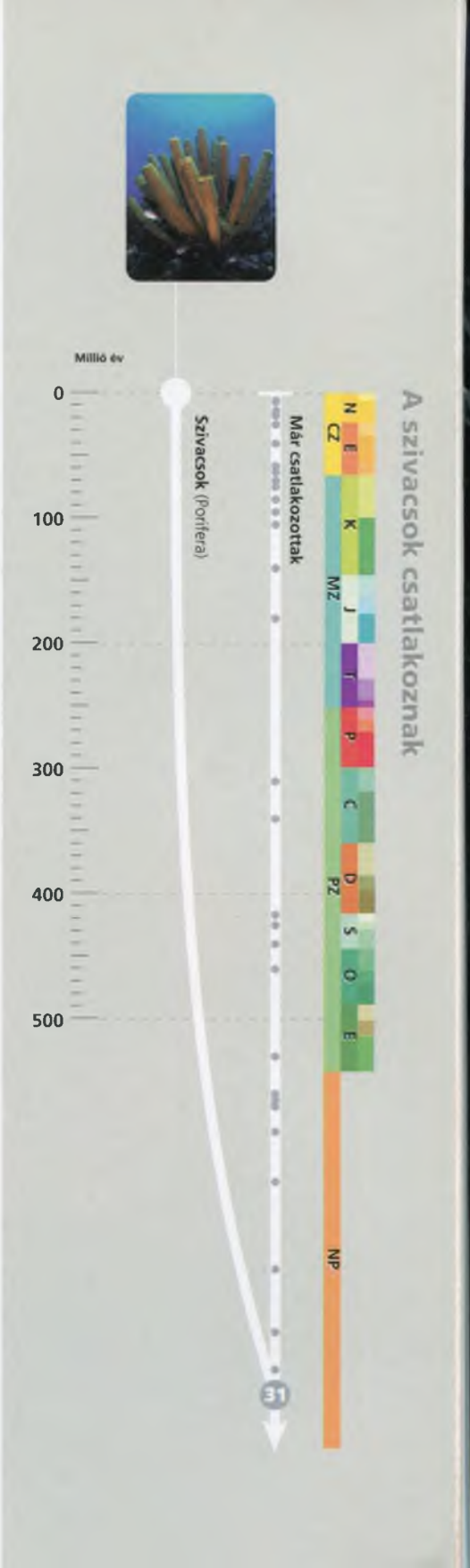
A SZIVACSOK CSATLAKOZNAK
Linné kora óta az állatokat („Metazoa") az élővilág egyik nagy „országaként" osztályozzák. A mintegy tízezer leírt szivacsfajt általában igen korán leágazott ágnak tekintik, és ezt a helyzetet a molekuláris adatok is megerősítik (bár a *Trichoplax* talán náluk is előbb ágazott le). A molekuláris taxonómusok kisebbsége véli úgy, hogy a szivacsoknak két leszármazási vonaluk van, amelyek egyike közelebbi rokona a többi Metazoának, mint a másik – és ez azt jelenti, hogy a legkorábbi Metazoák valóban úgy néztek ki, mint a szivacsok, és közéjük is sorolhatók – ám e nézet erősen vitatható.

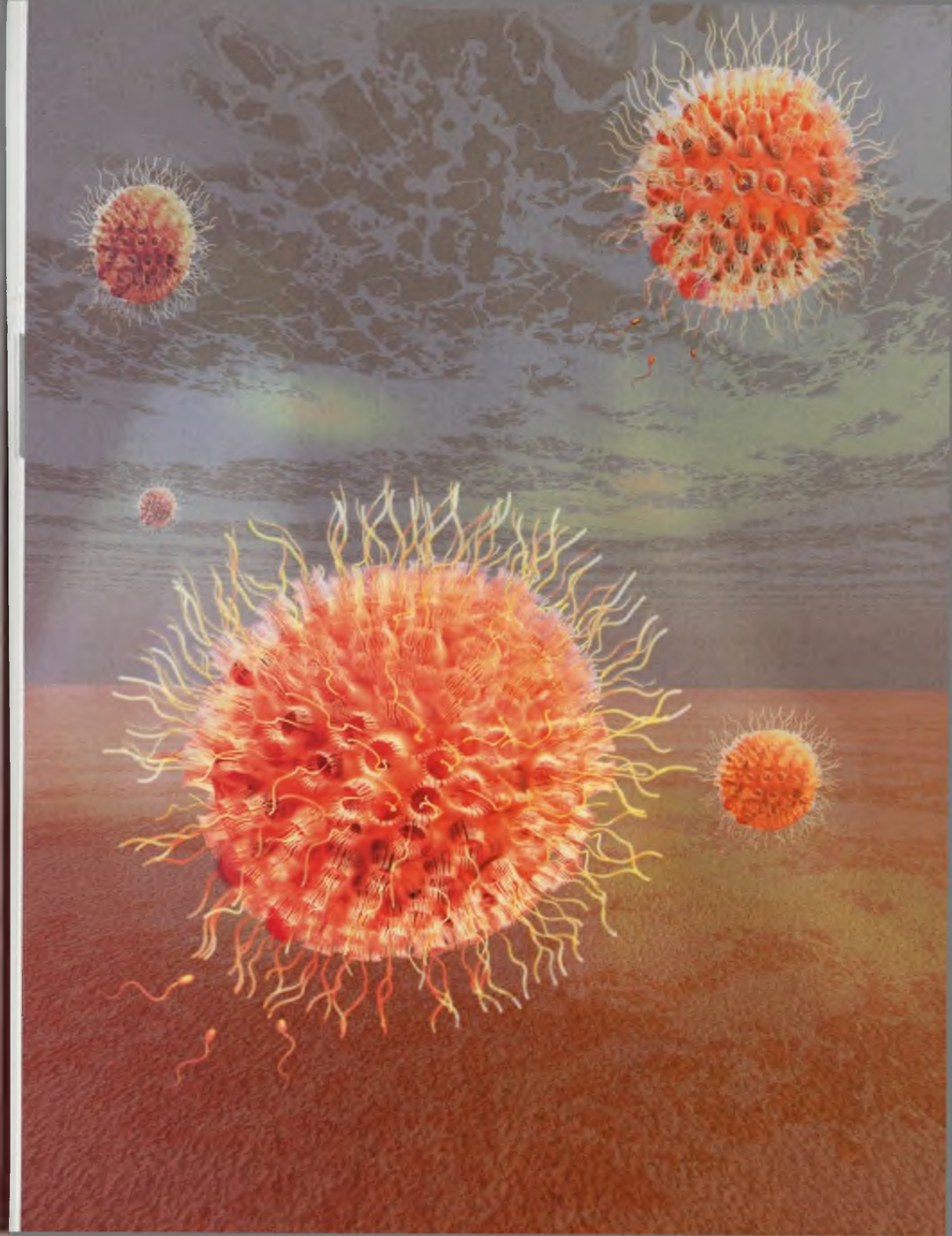
KÉP: sárga csőszivacs *(Aplysina fistularis)*

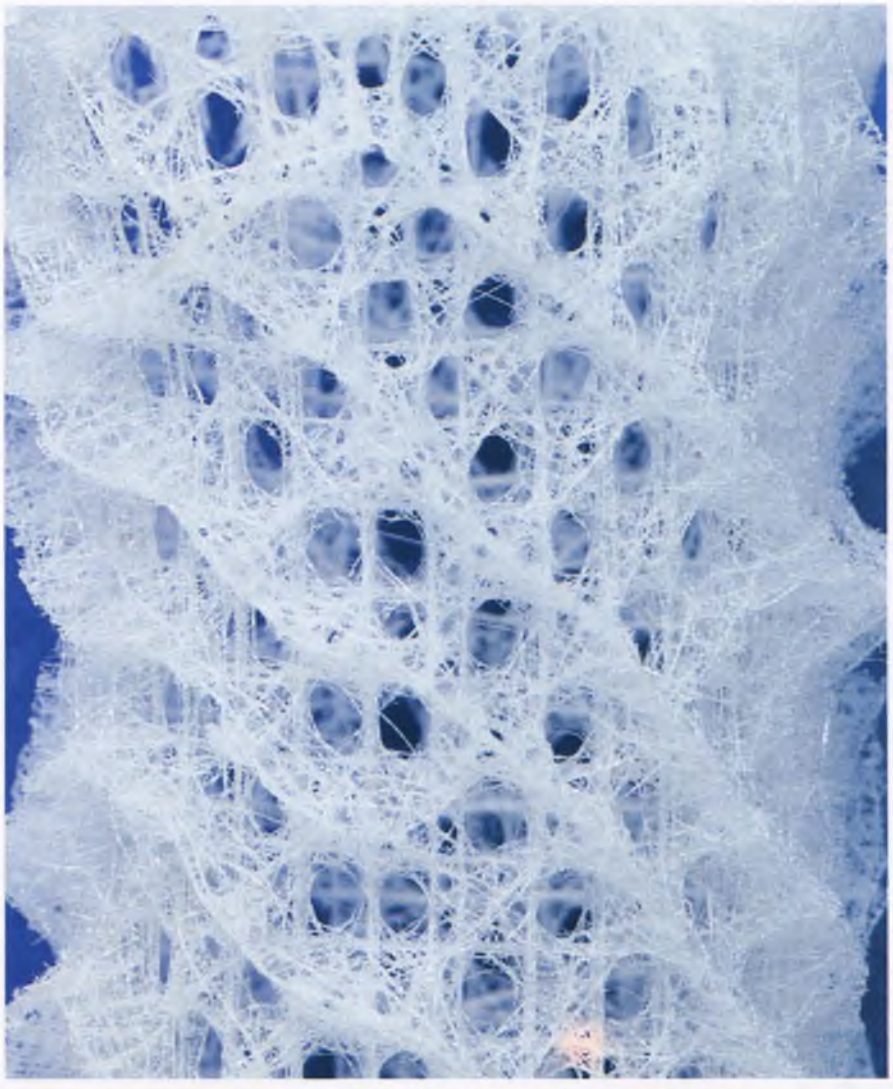
nem csíravonal – a szómasejteket nem arra szánták, hogy a génjeiket a végtelenségig továbbadják. Egy Eumetazoában, mondjuk egy emlősben a sejtek egy bizonyos alkészlete már a korai embriológiai szakaszban csírasejtként különül el. A többi sejt, a szómasejtek néhányszor osztódhatnak, hogy májat vagy vesét, csontot vagy izmot készítsenek, de aztán osztódási karrierjük véget ér.

A ráksejtek a baljóslatú kivételek. Ezek valamiként elvesztették azt a képességüket, hogy leállítsák az osztódást. Ám ahogy azt Randolph Nesse és George C. Williams, a *The Science of Darwinian Medicine* (A darwinista orvoslás tudománya) szerzői kimutatják, nem is kell meglepődnünk ezen. Ellenkezőleg, a meglepő dolog a rákban az, hogy nem fordul elő gyakrabban. A test minden sejtje végső soron olyan csíravonalsejtek milliárd nemzetségnyi töretlen vonalának leszármazottja, amelyek nem hagyják abba az osztódást. A sejt őseinek egész történetében nem fordult elő korábban, hogy hirtelen felszólították volna, hagyja abba az osztódást, és váljon olyan szomatikus sejtté, mint például a májsejt. Ne zavarodjunk össze! Természetesen a sejt őseinek otthont adó testeknek volt májuk. Ám a csíravonalsejtek – lényegüknél fogva – nem májsejtek leszármazottai.

Valamennyi szivacssejt csíravonalsejt – potenciálisan valamennyi halhatatlan. Különféle sejttípusaik vannak, de ezek fejlődése a legtöbb többsejtű állattól eltérő irányban bontakozott ki. Az eumetazoa embriók olyan sejtrétegeket alkotnak, amelyek bonyolult „origami" módjára összegyűrődve és betüremkedve építik a testet. A szivacsoknak nincs ilyen embriológiájuk. Ehelyett ők magukat szerelik – minden totipotens sejtjük rendelkezik a más sejtekkel való összekapaszkodás képességével, mintha némi társasági hajlammal megáldott önálló protozoák lennének. A modern zoológusok azonban a szivacsokat a Metazoák közé sorolják, és én ezzel az irányzattal tartok. A szivacsoké talán a soksejtű állatok legprimitívebb élő csoportja, és így tisztább fogalmat nyújtanak a korai Metazoákról, mint bármely másik mai állat.







SZEMKÖZTI OLDAL
31. KÖZ-ŐS
Kifelé fordult galléros ostoros sejtekből álló golyóként gondoljuk el (lásd *A szivacs meséjét*), amely szőrszerű ostorainak mozgatásával baktériumokat szedegetett. Ezek a soksejtű állatok ivarosan szaporodtak, és a szemközti rekonstrukción láthatók is a szabadon úszó spermiumok és a telepekbe beágyazódott petesejtek.

BALRA
VÉNUSZ VIRÁGKOSARA
A Vénusz-kosárka *(Euplectella aspergillum)* sponginvázának részlete

Akárcsak a többi állatnak, az egyes szivacsfajoknak is megvan a maguk sajátos alakja és színe. A keskeny korsó csak egyike a sokféle formának. Mások ennek változataiként egymáshoz kapcsolódó üregek rendszereit alkotják. A szivacsok jellemzően kollagénrostokkal (ezek teszik a fürdőszivacsokat szivacsossá) és ásványi sponginrostokkal: szilícium- vagy kalcium-karbonát kristályokkal szilárdítják a szerkezetüket, amelyek alakja gyakran a leginkább árulkodó a fajra nézve. A sponginváz olykor bonyolult és gyönyörű lehet, mint például az üvegszivacsokhoz tartozó Vénusz-kosárka *(Euplectella)* esetében.

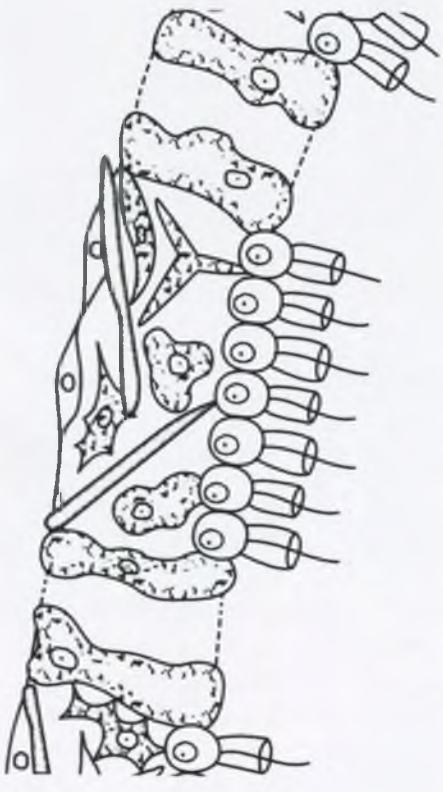
A 31. találkozás időpontját 800 millió évre teszi a törzsfadiagram, de az ilyen ősi datálásra a szokásos csüggesztő figyelmeztetések vonatkoznak. A soksejtű szivacsok kifejlődése az egysejtű protozoákból az evolúció egyik határköve – a Metazoák eredete – amit a következő két mesében járunk körül.

A SZIVACS MESÉJE

A *Journal of Experimental Zoology* (A kísérleti zoológia közlönye) 1907. évfolyama közölte H. V. Wilsonnak, az Észak-Carolinai Egyetem munkatársának tanulmányát a szivacsokról. Ez a vizsgálat klasszikus eljárás volt, és a róla szóló tanulmány azt az aranykort idézi, amikor a tudományos cikkek olyan érzékletes stílusban íródtak, amelyet meg lehetett érteni, és terjedelmük lehetővé tette, hogy elképzeljük, amint egy valódi személy valódi kísérletet végez egy valódi laboratóriumban.

Wilson fogott egy élő szivacsot, és egy finom szitán – egy „szitaszöveten" – átnyomva szétválasztotta a sejtjeit. A szétválasztott sejtek egy csésze tengervízbe kerültek, ahol többnyire egyedi sejtekből álló, piros felhőt képeztek. A felhő leülepedett a csésze fenekére, ahol Wilson mikroszkópjával megfigyelhette őket. A sejtek a csésze fenekén mászkálva úgy viselkedtek, mint az amőbák. Amikor ezek az amőbaszerű csúszómászók összetalálkoztak a hozzájuk hasonlókkal, sejthalmazzá álltak össze. Végül, ahogy Wilson és mások tanulmányai is kimutatták, ezek a halmazok addig növekedtek, míg új szivacsokká nem váltak. Wilson azzal is megpróbálkozott, hogy két különböző fajú szivacsot passzírozott és kevert össze, A két faj eltérő színű volt, így könnyen megfigyelhette, mi történik. A sejtek a fajtárs sejtjeikkel társultak, és nem a másikakkal. Furcsa mód Wilson eredményéről „kudarcként" számolt be, mivel abban bízott – hogy miért, azt nem értem, talán csak az egy évszázaddal ezelőtti zoológusok eltérő előfeltevéseit jelzi –, hogy két különböző fajból álló összetett szivaccsá állnak össze.

TÁRSASÁGKEDVELŐ SEJTEK
Szivacs falának részlete, jellegzetes galléros ostoros sejtjeivel, a choanocitákkal



A szivacssejtek efféle kísérletekkel igazolt „társaságkedvelő" viselkedése talán fényt vet az egyedi szivacsok normális embrionális fejlődésére. Vajon jelent-e ez bizonyosfajta utalást arra is, hogyan alakultak ki az első többsejtű állatok (metazoák) az egysejtű ősökből (protozoák)? A metazoa testet gyakran nevezik sejttelepnek. E könyv azon hagyományával összhangban, hogy némelyik mese evolúciós történések mai újrajátszásáról számol be, vajon mondhat-e nekünk valamit a szivacs meséje a távoli evolúciós múltról? Vajon a Wilson kísérletében szereplő mászkáló és összeálló sejtek jelenthetik-e valamiféle újrajátszását annak, hogy miként keletkeztek az első szivacsok – protozoák telepeiként?

Részleteiben csaknem biztosan nem. Viszont van itt egy utalás. A szivacsok legjellegzetesebb sejtjei a vízáramlást keltő galléros ostoros sejtek. A szemközti rajz a szivacsfal egy részletét ábrázolja, amelynek belseje jobbra mutat. A szivacs üregét a choanociták, vagyis a galléros ostoros sejtek szegélyezik. A *khoanosz* görögül 'tölcsért' jelent, és a rajzon láthatjuk a mikrovillinek nevezett, rengeteg finom szőrből álló tölcsért vagy gallért. Minden choanocitának van egy csapkodó ostora, amely a vizet hajtja keresztül a szivacson, míg a gallér megragadja az áramlásban található táplálékrészecskéket. Nézzük meg jól ezeket a galléros ostoros sejteket, mert a következő találkozáson valami hasonlókkal találkozunk. És akkor, ennek fényében, a következő mese beteljesíti elmélkedésünket a többsejtűség eredetéről.



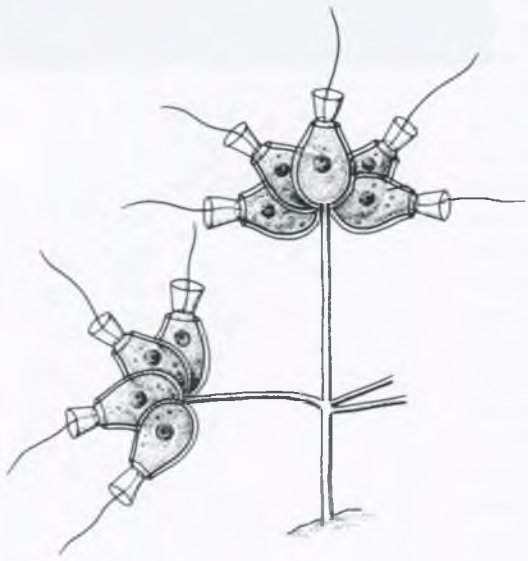
Mondhatnak nekünk valamit a távoli evolúciós múltról? Sárga csőszivacsok *(Aplycina fistularis)* a Karib-tengerben

32. TALÁLKOZÁS
GALLÉROS OSTOROS SEJTEK

32

A galléros ostoros sejtek a zarándoklatunkhoz társuló első egysejtűek, azaz protozoák. Az eseményre a 32. találkozáson kerül sor, amelynek idejét aggasztóan meredek következtetésre épülő molekuláris bizonyítékok alapján óvatos próbaként 900 millió évvel ezelőttre tehetjük. Pillantsunk csak a képre! Nem emlékeztetnek ezek a kis ostoros sejtek valamire? De igen: nagyon is hasonlítanak a szivacsok vízjárataiban sorjázó galléros ostoros sejtekre. Régóta gyanítják, hogy vagy egy szivacsos maradványait képviselik, vagy olyan szivacsok evolúciós utódai, amelyek egysejtűvé vagy nagyon kevés sejtűvé korcsosultak. A molekuláris genetikai adatok az előző változatra utalnak, és ezért tekintem őket itt hozzánk csatlakozó, önálló zarándokoknak.

HOGY IS VOLT?
Galléros ostoros sejtek telepe



A galléros ostorosoknak körülbelül 140 fajuk van. Némelyikük szabadúszó, és ostorukkal hajtják előre magukat. Mások kocsányhoz tapadva élnek, olykor a képen látható módon alkotva telepeket. Ostorukat arra használják, hogy a vizet a gallérba tereljék, ahol a baktériumokat és egyéb táplálékrészecskéket elkapják és bekebelezik. Ebben a tekintetben különböznek a szivacsok galléros ostoros sejtjeitől. A szivacsban az ostorok nem a táplálék gallérba terelésére használatosak, hanem hogy a többi choanocitával együtt a vízáramot beszívják a szivacs falának lyukain, majd kitereljék a szivacs fő nyílásán. Viszont anatómiailag az egyedi galléros ostoros sejtek gyanúsan hasonlítanak egy szivacs choanocitájára. Ezt a tényt domborítja ki *A galléros ostoros meséje*, amely folytatja a szivacs történetét a többsejtű szivacsok eredetéről.

A GALLÉROS OSTOROSOK CSATLAKOZNAK
A mintegy 120 galléros ostoros-fajt hagyományosan az állatok közeli rokonainak tekintjük, amit mind a morfológiai, mind a molekuláris adatok megerősítenek.

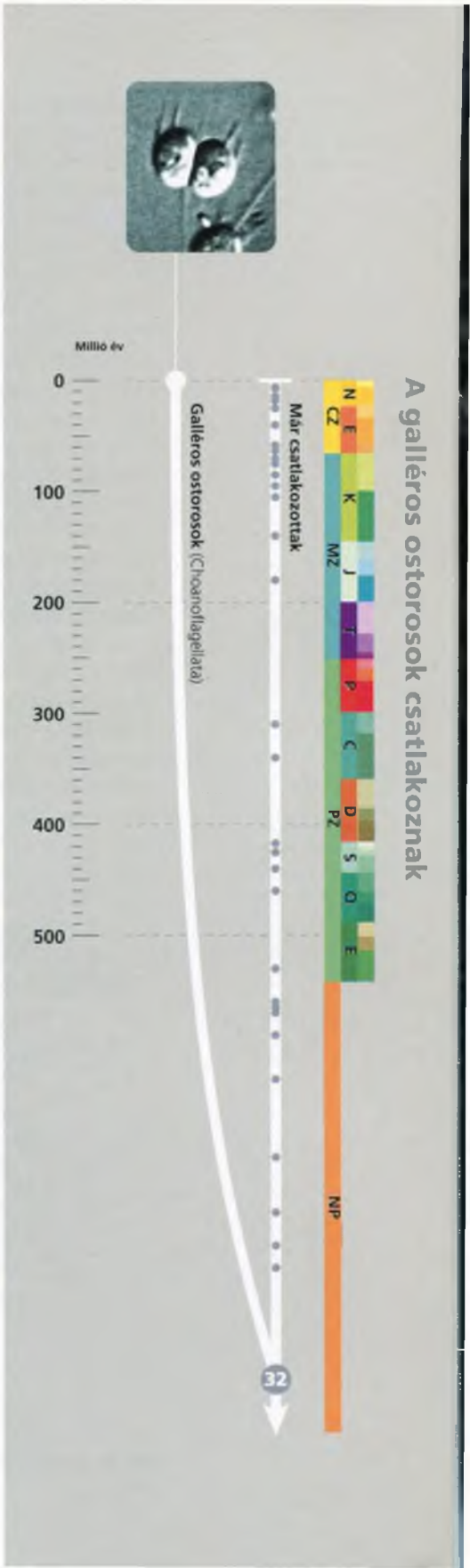
KÉP: *Codosiga gracilis*

A GALLÉROS OSTOROS MESÉJE

A zoológusok már régóta élvezettel törik a fejüket azon, hogyan alakultak ki a többsejtűek az egysejtű elődökből. Elsőként a nagy 19. századi német zoológus, Ernst Haeckel fogalmazta meg azt a Metazoák eredetéről szóló elméletet, amelynek egyik-másik változata még ma is kedvelt: az első többsejtű az ostoros egysejtűek telepe volt.

Haeckellel *A víziló meséjé*ben találkoztunk azzal kapcsolatban, hogy előrelátóan a vízilovakat a bálnákkal kapcsolta össze. Haeckel szenvedélyes darwinista volt, aki elzarándokolt Darwin otthonába (amit a nagy ember bosszantónak talált). Emellett ragyogó művész, elkötelezett ateista (Istent keserű gúnnyal ő nevezte „légnemű gerinctelennek"), és különösen lelkes híve volt a ma éppen népszerűtlen ismétlődés elméletének, miszerint „az ontogenezis a filogenezist ismétli" vagy „a fejlődő embrió saját családfáján mászik föl".

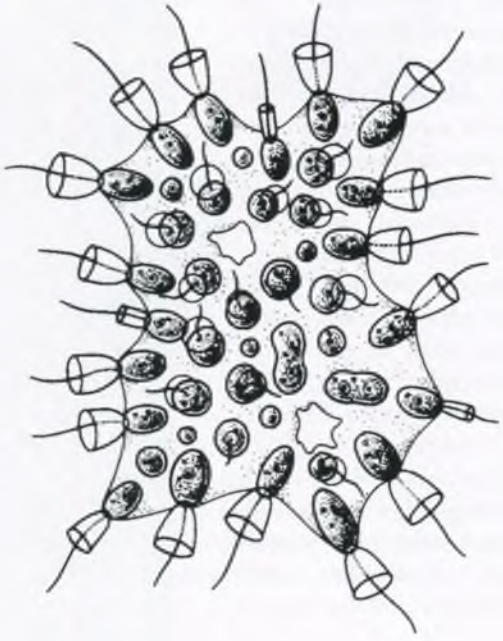
Láthatjuk az ismétlődés eszméjének vonzerejét. Minden fiatal állat élettörténete egymásba csúszó újrajátszása (felnőtt) őseiének. Mindannyian egysejtűként indulunk: ez felel meg a protozoáknak. A fejlődés következő állomása egy üreges sejtgolyó, a csírahólyag vagy blasztula. Haeckel szerint ez egy ősi állapotot képvisel, amit ő blastaeának nevezett. Az embriológiai fejlődés következő fokozataként a blasztula betüremkedik, mint egy behorpasztott labda, és egy kettős sejtrétegből álló kelyhet képez, a gasztrulát. Haeckel elképzelt egy gasztrula fokozatú őst, amelyet ő *gastraea*nek hívott. Haeckel ismétlődési elméletében a csalánozók, elérvén a gasztrulaszintet, nem másznak tovább a családfájukon, de mi továbbszolgálunk. Az ezt követő embriológiai fokozataink kopoltyúréses, farkos halra hasonlítanak. Később elveszítjük a farkunkat. És így tovább. Minden embrió akkor hagyja abba a családfáján a mászást, amikor eléri megfelelő evolúciós szintjét.



Bármilyen vonzó is, az ismétlődési elmélet kiment a divatból – vagy ma legalábbis úgy tekintik, mint amely olykor, de nem mindig igaz. Stephen Gould *Ontogeny and Phylogeny* (Ontogenezis és filogenezis) című könyve részletesen taglalja az egész anyagot. Most ezt a kérdést annyiban is kell hagynunk, de fontos látnunk, honnét indult ki Haeckel. A metazoák eredetének szempontjából Haeckel elméletében a blastaeaszint az érdekes: az az üreges sejtgolyó, amely szerinte az az ősi állapot volt, amit a blasztula a mai embriológiában megismétel. Milyen mai lényt találunk, amely hasonlít a blasztulára? Hol keressünk egy olyan felnőtt élőlényt, amely nem más, mint egy üreges sejtlabdacs?

Félretéve azt a tényt, hogy zöldek és fotoszintetizálnak, a Volvocales telepes moszat csoportja csaknem túl szépnek is tűnt ahhoz, hogy igaz legyen. A csoport névadó tagja, maga a *Volvox* a legnagyobb, és alighanem Haeckel a *Volvox*nál nem is kívánhatott volna találóbb blastaea-modellt. Tökéletes gömb, üreges, mint a blasztula, egyetlen sejtrétegből áll, mely sejtek mindegyike egysejtű ostorosra hasonlít (csak történetesen zöld).

Haeckel elméletének nem volt elegendő játéktere. A huszadik század közepén egy magyar zoológus, Hadzi Jován állt elő azzal, hogy az első metazoák egyáltalán nem gömb alakúak voltak, hanem elnyúltak, mint egy laposféreg. Az első metazoák korabeli modelljéül nála a 27. találkozáson megismert fajtájúakhoz hasonló örvényféreg szolgált. Ezt a több sejtmagos, csillós egysejtűekből származtatta le (amelyekkel a 37. találkozáson találkozunk majd, s amelyek némelyike máig megtartotta a több sejtmagot). A tengerfenéken mászott a csillószőreivel, akárcsak némely mai kisebb laposféreg. A sejtmagok közt sejtfal jelent meg, s ezáltal az egysejtű, de több sejtmagú, megnyúlt protozoa (egy „szincícium") egy saját sejtmaggal rendelkező sok sejtből álló mászó féreggé – az első metazoává – alakult át. Hadzi felfogása szerint a gömb alakú metazoák, mint a csalánozók vagy a bordás medúzák, másodlagosan veszítették el megnyúlt féreg alakjukat, és váltak sugarasan szimmetrikussá, míg az állatvilág többi része a kétoldalas féreg alakra épülve folytatta a fejlődést úgy, ahogy példáit mindenütt magunk körül látjuk.



Proterospongia rajza. A kifelé néző choanocitaszerű sejtek ostoraikkal hajtják előre e telepet a vízben.

Épp ezért Hadzi találkozássorrendje igencsak eltérne a miénktől. A csalánozókkal és a bordás medúzákkal korábban találkoznánk zarándokutunkon, mint az örvényférgekkel. Sajnálatosan a modern molekuláris bizonyítékok Hadzi sorrendje ellen szólnak. Ma a legtöbb zoológus Haeckel „telepes ostoros" elméletének valamelyik változatát támogatja Hadzi „szincícium-csillós" elméletével szemben.

A figyelem viszont ma a Volvocalesről – bármily elegánsak is – azon csoport felé fordult, amelynek meséje ez, vagyis a galléros ostorosok felé.

Az egyik telepes ostoros annyira hasonlít a szivacsokra, hogy a neve is *Proterospongia*. Az egyes galléros ostorosok (vagy nyakunkat kihúzva nevezzük őket inkább choanocitáknak?) kocsonyás közegbe ágyazódnak. A telep nem golyó, tehát nem elégítette volna ki Haeckelt, bár a galléros ostorosok szépségét – mint gyönyörű rajza is mutatja – csodálta. A *Proterospongia* olyan típusú sejtek telepe, amelyek csaknem megkülönböztethetetlenek a szivacsok belsejét uralóktól. A galléros ostorosok nálam kis szavazattöbbséggel a szivacsok, és így az egész Metazoa csoport eredetének mai újrajátszására leginkább alkalmas jelöltek.



Haeckel rajza a kocsányon ülő galléros ostorosokról *Kunstformen der Natur* (Művészi formák a természetben) [120] című művéből.

A galléros ostorosokat régebben az összes hátralévő szervezettel együtt azok közé helyezték, akik „protozoaként" még nem csatlakoztak zarándoklatunkhoz. A Protozoa többé nem alkalmas törzsnévként. Sokféle módon lehetséges az egysejtű (vagy ahogy némelyek jobban kedvelik: acelluláris – alkotó sejtekre nem felosztható testű) élet. A korábban Protozoaként ismert csoport különböző tagjai cseppenként most csatlakoznak zarándoklatunkhoz az olyan nagyobb többsejtű alakulatok által elválasztva, mint a gombák vagy a növények. A Protozoa nevet nem hivatalosan továbbra is használni fogom az egysejtű eukarióták jelölésére.

33. TALÁLKOZÁS ■ DRIP-EK

33

Van az egysejtű parazitáknak vagy Mesomycetozoeaként vagy Ichthyosporeaként ismert kis csoportja, amelynek tagjai többnyire halakon és egyén édesvízi állatokon élősködnek. A Mesomycetozoea név rokonságot sejtet mind a gombákkal, mind az állatokkal, és való igaz, hogy találkozásukra velünk, állatokkal a legutoljára kerül sor, mielőtt valamennyien találkoznánk a gombákkal. Ez a tény ma már a molekuláris genetikai vizsgálatokból ismert, amelyek egyesítik az egysejtű paraziták eddig meglehetősen vegyes táborát mind egymással, mind az állatokkal és a gombákkal.*

A „Mesomycetozoea" és az „Ichthyosporea" is igen nehezen megjegyezhető, és nincs is egyetértés abban, hogy melyiket használjuk inkább. Talán ezért terjedt el a DRIP-ek becenév – amely a mindössze négy, a csoport felfedezői számára ismert nem kezdőbetűjéből álló mozaikszó. A D, az I és a P betűknek a *Dermocystidium*, az *Ichthyophonus* és *Psorospermium* nemek felelnek meg. Az R mindig is egy kis csalás volt, mert nem latin nevet takar, hanem a lazac egy gazdaságilag is jelentős parazitájának, a „rozetta közegnek" a kezdőbetűje, amit ma hivatalosan *Sphaerothecum destruens*nek neveznek. Szóval, szerintem a mozaikszót igazából DIPS-re vagy DIPS-ekre kellett volna módosítani, de úgy tűnik, a DRIP-ek név nagyon meggyökeresedett. Sőt most, mintha csak létezne nevezéktani előrelátás, nemrégiben felfedeztek egy újabb DRIP organizmust, amelynek neve történetesen R-rel kezdődik, a *Rhinosporidium seeberi*t, az emberi orr parazitáját. Úgyhogy átszabhatjuk a nevet DRIPS-re, amely mind az öt kezdőbetűt gond nélkül magában foglalja.



Evolúciós arisztokrata státus
Az *Ichthyophonus hoferi* csírázó spórája egy hering májából. Mielőtt DRIP-ként azonosították volna, az *I. hoferi*, gombának vagy protozoának vélték.

A *Rhinosporidium seeberi*t először 1890-ben fedezték föl, és régóta az emberi, sőt valójában az emlős orrok rhinosporidiosis nevű kellemetlen betegségét okozó kórokozónak tartották, de hovatartozását titok fedte. Időnként áthelyezték a Protozoáktól a gombákhoz, ám a molekuláris vizsgálatok ma az ötödik DRIP-ként határozták meg. A szójátékokat utálók szerencsére úgy tűnik, nem a *R. seeberi* okozza az orrcsöpögést (a „drip" az angolban többek közt 'csöpögés' jelentésű – *a ford.*). Ellenkezőleg, polipszerű képződményekkel elzárja az orrot. A rhinosporidiosis főként trópusi betegség, és az orvosok régóta azt gyanítják, hogy az emberek édesvizű tavakban és folyókban fürödve kapják meg. Mivel az összes többi ismert DRIP is édesvízi halak, rákok és kétéltűek élősködője, valószínűnek látszik, hogy az édesvízi állatok jelentik a *R. seeberi* elsődleges gazdaszervezeteit is. Az a felfedezés, hogy egy DRIP-ről van szó, más módon is az orvosok hasznára lehet. Például a kezelésükre gombaölő gyógyszerekkel

* Zavaró módon (hogy finomak legyünk) a Mesomycetozoa nevet használják a Mesomycetozoeával szemben (vajon ki veszi észre a különbséget?) az átfogóbb csoport jelölésére. Ezt mintha kifejezetten összezavaró céllal választották volna, hasonlóan a mi rokonaink Hominoidea, Hominidae, Homininae, Hominini névegyüttesére. Én mindegyiket bojkottálom.

A DRIP-EK CSATLAKOZNAK Az állatok legközelebbi egysejtű rokonai a galléros ostorosok és a DRIP-ek. Jelenleg bizonytalan, hogy vajon ez a két csoport egymás legközelebbi rokona-e (így eggyé olvasztva a 32. és a 33. találkozást), vagy a harminc-egynéhány leírt DRIP-faj a legtávolabbi rokona-e az összes többieknek. A legalaposabb molekuláris vizsgálat az utóbbi változatot támasztja alá, ezért azt követjük.

KÉP: *Ichthyophonus hoferi*

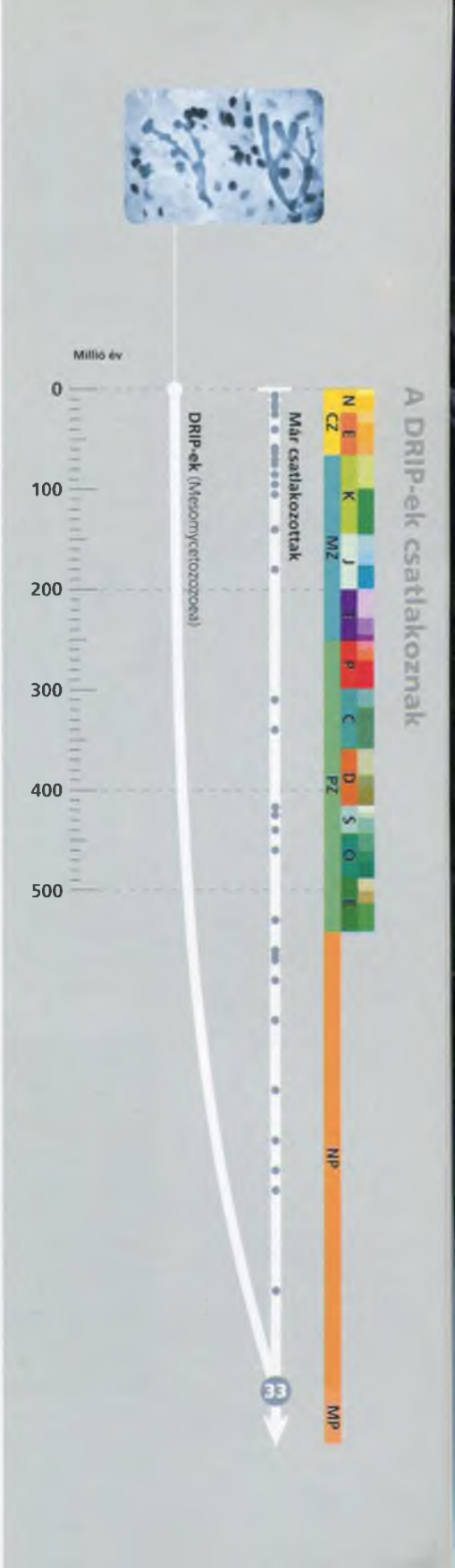
tett kísérletek kudarcot vallottak, és most már van fogalmunk arról, miért: egyszerűen nem gomba.

A *Dermocystidium* cisztaként jelenik meg a pontyok, lazacok, angolnák, békák és gőték bőrén vagy kopoltyúin. Az *Ichthyophonus* több mint nyolcvan halfaj esetében okoz gazdasági jelentőségű szervi fertőzéseket. A *Psorospermium*, amelyet történetesen régi barátunk, Ernst Haeckel fedezett fel, rákokat fertőz meg, és ugyancsak érzékeny gazdasági következményekkel jár a rákállományokra. A *Sphaerothecum* – mint láttuk – a lazacokat fertőzi meg.

Maguktól a DRIP szervezetektől mint lényegtelenektől eltekinthetnénk, ha evolúciós helyzetük nem volna arisztokratikus – elágazási pontjuk mindenesetre a legmélyebb az állatvilágban. Nem tudjuk, hogy nézett ki a 33. köz-ős, legfeljebb annyiban, amennyiben minden egysejtű szervezet meglehetősen hasonlónak tűnik a mi eltompult, soksejtű szemünkben. Az biztos, hogy nem volt sem a halak, sem a kétéltűek, sem a rákok, sem az emberek DRIP-ekhez hasonló parazitája, hiszen mindezek még a mérhetetlenül távoli jövőben rejlettek.

A DRIP-ek egyik állandó jelzője a „rejtélyes", és ki vagyok én, hogy szakítsak a hagyománnyal? Ha egy DRIP elmondaná titkos meséjét, alighanem arról szólna – most, hogy ily ősi találkozáshoz értünk –, mennyire úgyszólván önkényes, hogy melyik egysejtű unokatestvérünk maradt fenn. Nem véletlenül mindig meglehetősen önkényes, melyik egysejtű organizmus molekuláris genetikai vizsgálatára esik a tudósok választása. Az emberek azért vizsgálták meg a DRIP-eket, mert némelyikük gazdasági jelentőségű halparazita, míg mások, most már tudjuk, az orrunkat tömítik el. Lehetnek olyan egysejtű organizmusok, amelyek éppoly kulcsfontosságúak az élet fáján, de amelyek vizsgálatával senki sem vesződött, mert nem a lazacokon vagy az embereken, hanem mondjuk a komodói sárkánygyíkon élősködnek.

A gombákat azonban senki sem hagyhatja figyelmen kívül. Most az ő üdvözölésükre kerítünk sort.



34. TALÁLKOZÁS ■ GOMBÁK

34

A 34. találkozáson csatlakozik hozzánk, állatokhoz a többsejtűek három nagy országából a második, a gombáké. A harmadik a növények országa. Elsőre meglepő lehet, hogy az olyannyira növénynek tetsző gombák közelebbi rokonai az állatoknak, mint a növényeknek, ám a molekuláris összehasonlítás nem sok kétséget hagy efelől. És talán nem is olyan meglepő. A napból az energiát a növények importálják a bioszférába. Az állatok és a gombák a maguk eltérő módján a növényvilág parazitái.

A gombák az összesen 1,5 millióra becsült fajuk közül máig leírt 69 000-rel igen nagy és fontos áradata a zarándokoknak. Az ehető és mérges kalaposgombák téves benyomást keltenek – ezek a feltűnően növényszerű szervezetek csupán a jéghegy spóratermelő csúcsai. A gombát alkotó organizmus tevékeny részének legjava – vagyis a gombafonalak (hifák) szétterjedt hálózata – a föld alatt található. Az egyes gombákhoz tartozó gombafonalak összessége a gombaszövedék (micélium). A gombaszövedék teljes hossza kilométerekben mérhető, és jókora földterületre kiterjedhet.

Az egyedi kalaposgombák olyanok, mint a fák virágai. Ám a „fa" itt nem egy magas, függőleges szervezet, hanem egy óriási teniszütő hálójaként terül szét a talaj felső rétegében. A boszorkánykörök élénken emlékeztetnek erre. A kör kerülete képviseli a gombaszövedék egy központból – amely eredetileg akár egyetlen spóra is lehetett – kiinduló növekedésének mértékét. A terjeszkedő gombaszövedék körkörös vezető szegélye – a tápszegély, a teniszütő kerete – az, ahol leggazdagabb az emésztés lebontási termékeiben. Ez tápanyagforrást jelent a fűnek, amely ezért dúsabban nő a kör területén. Ahol van termőtest (kalaposgombáknál és rokon gombafajoknál), az is a körben szokott nőni.



FONALAK SZERTEÁGAZÓ HÁLÓZATA
Színes pásztázó elektronmikroszkóp-felvétel az élelmiszereket gyakran elszennyező tömlősgomba, az *Aspergillus niger* termőtestéről és gombafonalairól. A termőtest tartalmazza az éppen szétszóródás előtt álló spórákat (zöld gömböcskék).

A gombafonalakat válaszfalak különíthetik el sejtekre. Olykor azonban erre nem kerül sor, és a DNS-t tartalmazó sejtmag szétszóródik a gombafonal szincíciumában, amely sok sejtmagú, de sejtekre nem tagolódó szövetet jelent (a szincíciummal már találkoztunk a *Drosophila* korai fejlődésénél és Hadzi elméletében a Metazoák eredetéről). Nem minden gombának van fonalszerű gombaszövete. Némelyek,

A GOMBÁK CSATLAKOZNAK
A molekuláris taxonómia rávilágít arra, hogy a gombák közelebb állnak az állatokhoz, mint a növényekhez. Általában a két legnagyobb csoportot, a tömlősgombákat (Ascomycetes – körülbelül 40 000 leírt faj) és a bazidiumos gombákat (Basidiomycetes – körülbelül 22 000 faj) tekintik a legközelebbi rokonoknak, míg a legújabb vizsgálatok a 160 arbuszkuláris mikorrhiza gombát testvércsoportjuknak találták. A maradék, mintegy 3000 gomba csoportosítása és leágazási sorrendje nincs kellően tisztázva, különösen ami a korábban a „Zygomycota" (járomspórás gombák) csoportba sorolt ágak számát és a Microsporidia besorolását illeti.

KÉPEK BALRÓL JOBBRA:
ízletes kucsmagomba *(Morchella esculenta)*; erdei szömörcsög *(Phallus impudicus)*; arbuszkuláris mikorrhiza gomba a harangvirág *(Hyacinthoides nonscripta)* gyökeréből (*Glomus*-faj); tűpenész (*Mucor*-faj); *Rhizoclostamium*-faj; *Enterocytozoon bieneusi*

mint az élesztők, visszatértek az egysejtűséghez, osztódnak és diffúz tömegben növekszenek. A gombafonalak (vagy az élesztősejtek) nem tesznek mást, mint megemésztenek mindent, amin átfúrják magukat: elhalt leveleket, és egyéb pusztuló anyagot (a talajgombák), aludttejet (a sajtkészítő gombák), szőlőt (a borélesztők) vagy a szüretelők lábujjait (ha történetesen lábgombásodásban szenved az illető).

A hatékony emésztés kulcsa, hogy nagy terjedelmű felszívó felületnek kell érintkeznie a tápanyaggal. Mi ezt úgy érjük el, hogy apró darabokra rágjuk az ételt, majd a darabkákat átvezetjük egy hosszú, kanyargós bélcsatornán, amelynek már amúgy is terjedelmes belső felületét apró kitüremkedések vagy bolyhok erdeje takarja. Ugyanakkor minden bélbolyhnak az oldalát szőrszerű mikrobolyhok borítják, így egy felnőtt ember bélrendszerének összes felszívó felülete több millió négyzetcentiméter.



Gombaorgia
Erdei szömörcsög *(Phallus impudicus)*, egy bazidiumos gomba

Egy olyan gomba, mint a találóan elnevezett *Phallus* (jobbra) vagy az *Agaricus campestris* mezei gomba körülbelül hasonló nagyságú talajfelületre terjeszti ki gombaszövedékét, ahol emésztő enzimeket választ ki, és megemészti a talaj anyagát. A gombák nem mászkálnak fel s alá táplálékot nyelve, és nem a testükben emésztenek, mint ahogy egy disznó vagy egy patkány tenné. Ehelyett fonalszerű gombaszövedék, micélium formájában közvetlenül a tápanyagon áthatolva terítik szét a „beleiket", és a helyszínen emésztik azt meg. A gombafonalak időről időre összegyülekeznek, hogy jellegzetes alakú szilárd szerkezetet hozzanak létre: egy ehető gombát (vagy egy mérges gombát, vagy taplógombát). Ez a szerkezet olyan spórákat állít elő, amelyek magasra és messzire szállnak a szélben, és elterjesztik az új gombaszövedék, majd végül az új kalaposgombák készítésére alkalmas géneket.

Mint ahogy azt egy százezer új zarándokból álló új áradattól el is várnánk, már „azelőtt" egy nagy alegységet alkottak egymással, hogy velünk a 34. találkozáson összetalálkoztak volna. A gombák valamennyi alcsoportjának neve az olykor „mycota"-ra változó „mycetes" szóra végződik, amely görögül 'gombát' jelent. Már találkoztunk „mycetes"-sel a Mesomycetozoeanál, ennél a DRIP-ekre használatos névnél, amely valamiféle átmeneti állapotra utal az állatok és a gombák között. A gombazarándokok alegységének két legfontosabb tagját a tömlősgombák (Ascomycota) és a bazídiumos gombák (Basidiomycota) jelentik.

A tömlősgombák közé tartozik néhány híres és fontos gomba, például a *Penicillium*, az az élesztő, amelyből az első antibiotikumot véletlenül felfedezte Fleming, aki mindaddig jórészt átsiklott fölötte, míg 13 évvel később Florey, Chain és munkatársaik újra föl nem fedezték. Mellesleg igen sajnálatos, hogy az *antibiotikum* név gyökeresedett meg. Ezek a hatóanyagok kizárólag baktériumölők, és ha antibiotikum helyett antibaktériumnak nevezték volna el őket, akkor a betegek talán nem követelnék az orvosoktól, hogy (hasztalanul, sőt ellentétes hatást érve el) vírusfertőzésre is írják fel őket. Egy másik Nobel-díjas tömlősgomba a *Neurospora crassa* nevű élesztő, amellyel Beadle és Tatum kialakította az „egy gén, egy enzim" elméletet. Aztán itt

vannak az emberbarát élesztők, amelyek kenyeret, bort és sört készítenek, aztán az ellenséges *Candida*, amelytől olyan kellemetlen betegségeket kapunk, mint a vaginitis (hüvelygombásodás). Az ehető kucsmagomba és a magasra értékelt szarvasgomba is tömlősgombák. A szarvasgombát hagyományosan emsékkel kerestetik, amelyeket erősen vonzza az alfa-androsztenolnak tűnő illat, ez a kanok által kiválasztott hím nemi feromon. Nem világos, a szarvasgomba miért termeli ezt a meddő áruló jelet, de talán emiatt – melynek hatásmódja még kidolgozásra vár – gyakorol ránk oly erős gasztronómiai vonzerőt.

A legtöbb ehető és hírhedten nem ehető vagy hallucinogén gomba a bazídiumos gombák közé tartozik: csiperke, rókagomba, tinóru, tölgyfagomba, tintagomba, légyölő galóca, bolondgomba és pöffeteggomba. Némelyikük spóratermelő teste tekintélyes méreteket érhet el. A bazídiumos gombák azáltal is gazdasági jelentőségre tesznek szert, hogy az üszögként és rozsdásodásként ismert növénybetegségek okozói. Némely bazídiumos gomba és tömlősgomba, valamint a Glomeromycetes nevű specializált gombacsoport tagjai növényekkel együttműködve gombaszövedékükkel egészítik ki azok gyökérszőreit. E rendkívül figyelemre méltó történetről most röviden be is számolok.

Láttuk, hogy a bélbolyhaink és egy gomba micéliumának fonalai vékonyak, hogy megnöveljék az emésztő és felszívó felületet. Ugyanilyen módon a növényeknek is számtalan gyökérszőrük van, hogy megnöveljék a víz- és tápanyagfelszívásra rendelkezésre álló felületet. Ám igazán az elképesztő, hogy ami látszólag gyökérszőr, valójában nem is a növény része, hanem szimbionta gombák, amelyek micéliuma nem csupán hasonlít a gyökérszőrre, hanem úgy is működik. Ezeket nevezik mikorrhizáknak, és az alaposabb vizsgálat feltárja, hogy a mikorrhizaelv több egymástól függetlenül kialakult módon is megvalósul. Bolygónkon a növényi élet nagy része teljesen a mikorrhizától függ.

A szimbiotikus együttműködésnek még ennél is nagyobb tette, hogy a bazídiumos gombák és – megint csak független fejlődéssel – a tömlősgombák is társulnak moszatokkal vagy cianobaktériumokkal zuzmók, azaz olyan figyelemre méltó szövetségek megalkotására, amelyek sokkal többre képesek, mint bármely partner önmagában, és olyan testformákat eredményeznek, amelyek gyökeresen eltérnek bármelyik partner testétől. A zuzmókat olykor összetévesztik a növényekkel, és nem is tévednek nagyot – hiszen, miként majd a *Nagy Történelmi Találkozás*on meglátjuk, eredetileg a növények is fotoszintetizáló mikroorganizmusokkal kötöttek egyezséget élelmiszer-termelésre. A zuzmókat nagyjából úgy is elgondolhatjuk, mint két organizmusból összekovácsolt, kialakulófélben lévő növényeket. A gomba oldaláról csaknem azt mondhatnánk, hogy fotoszintetizálók befogott állományával „gazdálkodnak". A metafora csak nyer abból a tényből, hogy némely zuzmóban a társulás nagyrészt együttműködésre épül, míg másokban a gomba inkább kizsákmányoló.* Ami engem a zuzmókban igazán elbűvöl, hogy fenotípusaik (lásd *A hód meséjét*) egyáltalán nem hasonlítanak sem egy gombára, sem egy moszatra. A „kibővített fenotípus" két különböző géntermék együttműködésével kikovácsolt, igen különleges formát jelent. Az én életről kialakított felfogásomban, amit más könyvekben fejtettem ki, az efféle együttműködés elvileg nem különbözik egy organizmus saját génjeinek együttműködésétől. Valamennyien gének szimbiózisban élő telepei vagyunk – géneké, amelyek fenotípusokat szőnek maguk köré.

* Az evolúciós elmélet azt jósolja, hogy azokban a zuzmókban, amelyekben a gombák és a fotoszintetizálók szaporodása párhuzamos, általában együttműködő kapcsolat alakul ki. Azokban a zuzmókban, amelyekben a gombák csupán befogják a környezetből az elérhető fotoszintetizáló organizmusokat, a viszony előreláthatólag inkább kizsákmányoló lesz, és úgy tűnik, valóban ez a helyzet.

35. TALÁLKOZÁS ■ AMŐBAÁLLATOK

35

A 35. találkozáson egy olyan kis lény csatlakozik hozzánk, amit a népszerűsítő, de még a tudományos fantázia is mind közül a legprimitívebbként, a csupasz „protoplazmánál" alig valamivel többként tüntetett fel: az *Amoeba proteus*. E nézet szerint a 35. találkozás lenne hosszú zarándoklatunk utolsó légyottja. Nos, még mindig áll előttünk megteendő út, és az *Amoeba*nak a baktériumokkal összehasonlítva meglehetősen előrehaladott, bonyolult szervezetük van. Ugyanakkor meglepően nagy is – még szabad szemmel is látható. Az óriásamőba, a *Pelomyxa palustris* akár fél centiméteres átmérőjű is lehet.

Az amőbák híresek alaktalanságukról – innét a *proteus* fajnév is, a görög isten után, aki képes volt változtatni az alakját. Úgy mozognak, hogy áramoltatják félfolyadék belsejüket, amely hol többé-kevésbé egységes paca alakját ölti, hol állábakat növeszt. Olykor „sétálnak" azokon az ideiglenesen kinyújtott „lábakon". Úgy esznek, hogy állábaikkal közrefogják, vízbuborékba zárják, majd bekebelezik a zsákmányt. Elég kísérteties tapasztalat lenne, ha egy amőba bekebelezne bennünket, és ha nem lennénk túl kicsik ahhoz, hogy kísérteteket lássunk. A gömbbuborék vagy vacuola a külvilág részének tekinthető, amit az amőba „külső" falának egy része szegélyez. Ha egyszer már a vacuolában van, a tápanyag a megemésztés sorsára jut.

Némely amőba az állatok bélcsatornájában él. Például az *Entamoeba coli* igen gyakori az emberi vastagbélben. Ne keverjük össze a (a jóval kisebb) baktériummal, az *Escherichia coli*val, amelyet esetleg elfogyaszt. Ránk nézve ártalmatlan, nem úgy, mint közeli rokona, az *Entamoeba histolycita*, amely megrongálja a vastagbelet szegélyező sejteket, és vastagbélgyulladást okoz, amely a brit angolban Delhi-hasként, az amerikaiban Montezuma bosszújaként ismeretes.

Az amőbaállatok három meglehetősen eltérő csoportját nyálkapenésznek nevezik, mivel egymástól függetlenül hasonló életmódot alakítottak ki (plusz egy másik nem rokon csoport is tartozik a „nyálkapenészek" közé, az Acrasida rend, amelyek a 37. találkozáson társulnak hozzánk). Az amőbaszerűek közül a legismertebb a sejtes nyálkapenészek vagy dictyostelium [dictyostelids]. A neves amerikai biológus, J. T. Bonner egész életét ezek kutatásának szentelte, és az alábbiak nagyrészt az ő tudományos emlékiratából, a *Life Cycles*ból (Életciklusok) merítettem.

A sejtes nyálkapenészek társas amőbák. Szó szerint elhomályosítják a különbséget az egyedek társas csoportja és egyetlen soksejtű egyed között. Életciklusuk egy részében a különálló amőbák a talajon másznak, baktériumokat fogyasztanak és szaporodnak, ahogy már az amőbáknál szokás, kettéosztódva, tovább táplálkozva, majd újra kettéosztódva. Aztán az amőbák meglehetősen hirtelen „társas üzemmódra" váltanak.

Az amőbák csatlakoznak
Az *amőba* szó inkább leírás, semmint szigorú értelemben vett osztályozás, mert számos egymással nem rokon eukarióta mutat amőbaszerű formát. Az Amoebozoák közé tartoznak a klasszikus amőbák, mint például az *Amoeba proteus*, amit a képen láthatunk, valamint a legtöbb nyálkapenész – összesen mintegy 5000 ismert faj.

KÉP: *Amoeba proteus*

Tömörülési középpontok felé nyomulnak, amelyekből vonzó vegyi anyagok sugároznak kifelé. Minél több amőba áramlik a vonzási középpontba, annál vonzóbbá válik, mivel egyre több jelzőanyagot bocsát ki. Kicsit hasonlít ez ahhoz, ahogy a felhalmozódó törmelékből a bolygók kialakulnak. Minél több törmelék halmozódik föl egy adott vonzási központ köré, annál nagyobb lesz gravitációs vonzereje, így végül csak néhány vonzási központ marad, és azok bolygóvá válnak. Végül az egyes fő vonzási központok amőbái egyetlen soksejtű tömegben egyesítik testeiket, amely addigra „meztelencsigává" nyúlik. A mintegy milliméter hosszú halmaz úgy is mozog, mint egy meztelencsiga, van határozott első és hátsó vége, és képes meghatározott irányba – mondjuk a fény felé – kormányozni magát. Az amőbák egy egységes szervezet kialakítása érdekében elnyomják egyediségüket.

Miután egy ideig mászkál, a „meztelencsiga" belevág életciklusa utolsó fázisába, amikor gombaszerű „termőtestet" lövell ki. A folyamat azzal kezdődik, hogy a „fejére" áll (az első vég a mászás irányával határozható meg), amely így a parányi gomba „tönkje" lesz. A tönk belseje az elhalt sejtek feldagadt cellulóz testeiből álló üreges cső lesz. Ezután a cső felső része körüli sejtek Bonner szavaival élve fordított vízesésként beömlenek a csőbe, minek következtében a tönk csúcsa a levegőbe emelkedik, és a tönk eredetileg hátsó vége kerül a csúcsra. Az eredeti hátsó vég amőbái most vastag védőköpenybe zárt spórává alakulnak. Ezek a gombák spóráihoz hasonlóan szabadulnak ki, mindegyik önálló életű, baktériumfaló amőbaként tör ki a köpenyéből, és az életciklus ismét újrakezdődik.

Bonner szemünket felnyitó listát közöl az ilyen szociális mikrobákról – többsejtű baktériumokról, többsejtű csillósokról, ostorosokról és amőbákról, köztük az ő kedvenc nyálkapenészeivel. Ezek a lények esetleg tanulságos újrajátszásait (vagy előjátékait) jelenthetik a mi metazoa típusú soksejtűségünknek. Ám én azt gyanítom, mégis valamennyien teljesen mások, s emiatt csak még elragadóbbak.





36. TALÁLKOZÁS ■ NÖVÉNYEK

36

A 36. találkozáson pillantjuk meg az élet igazi urait, a növényeket. Az élet meglenne állatok és gombák nélkül, ám ha kiirtanánk a növényeket, gyorsan megszűnne. Elengedhetetlenül növények találhatók csaknem minden táplálékláncalapjánál – legmélyebb alapzatánál. Ők bolygónk legfeltűnőbb teremtményei – az első élőlények, amelyek minden idelátogató Mars-lakónak szemet szúrnának. A valaha élt messze legnagyobb organizmusok növények, és a világ biomasszájának tekintélyes hányada van a növényekbe zárva. Mindez nem véletlenül történik így. Ennek a hányadnak jelentős része szükségszerűen következik abból a tényből, hogy csaknem* az egész biomassza, fotoszintézis révén, végső soron a napból származik, és nagy része a zöld növényekben található, hiszen az élelmiszerlánc minden szemének átadási hatékonysága körülbelül csupán tízszázalékos. A föld felszíne a növények miatt zöld, és a tenger felszíne is zöld lenne, ha fotoszintetizálóinak zöld szőnyege makroszkopikus növényekből állna és nem mikroorganizmusokból, amelyek túl kicsik ahhoz, hogy észrevehető mennyiségű zöld fényt verjenek vissza. Olyan ez, mintha a növények minden áron zölddel akarnának beborítani minden négyzetcentimétert, hogy ne maradjon semmi csupaszon. És éppen ezt teszik, méghozzá nagyon is ésszerű oknál fogva.

A Napból véges számú foton éri el a bolygó felszínét, márpedig minden egyes foton értékes. Valamely bolygó által a csillagából betakarítható fotonok számát felületének területe korlátozza, amit még az is bonyolít, hogy egyszerre csak a bolygó egyik oldala néz a csillag felé. Egy növény szempontjából a Föld felszínének minden négyzetcentimétere, amely nem zöld, hanyagul elmulasztott lehetőség a fotonok összeseprésére. A levelek a lehető leglaposabb napelemek, mégpedig azért, hogy maximalizálják az egységnyi költségre eső fotonok számát. Jutalom jár azért, ha a levelek úgy helyezkednek el, hogy ne kerüljenek más levelek árnyékába, különösen ha valaki más leveleiről van szó. Ezért nőnek az erdő fái olyan magasra. A nem erdőben lévő magas fák rendellenesek, és ennek oka talán az emberi beavatkozás, hiszen teljes erőpocsékolás magasra nőni, ha egyszer nincs a közelben másik fa. Sokkal célszerűbb oldalirányba kiterjeszkedni, mint a fű, mert ily módon a növekedésre fordított egységnyi erőfeszítésre több befogott foton jut. A fenti növények részéről kudarc minden foton, amely eléri a talajt.

A Vénusz légycsapójához hasonló néhány kivételtől eltekintve a növények nem mozognak. A szivacsokhoz hasonló néhány kivételtől eltekintve az állatok viszont igen. Miért e különbség? Bizonyára ahhoz a tényhez van köze, hogy a növények fotonokat, míg az állatok (végső soron) növényeket esznek. Természetesen hozzá kell

* Ennek a kis fenntartásnak az oka Canterburybe érve derül majd ki.

** Be is iktatnék erről egy mesét, ha nem tettem volna már meg a *Climbing of Mount Improbable* (A Valószínűtlenség hegyének meghódítása) című könyvem két fejezetében is: a „Pollenszemek és mágikus golyók"-ban, és a „Bekerített kert"-ben.

*** Ha eltekintünk az egysejtű Glaucophyta törzs meglehetősen kevés, 13 fajától, amelyek kilógnak s sorból.

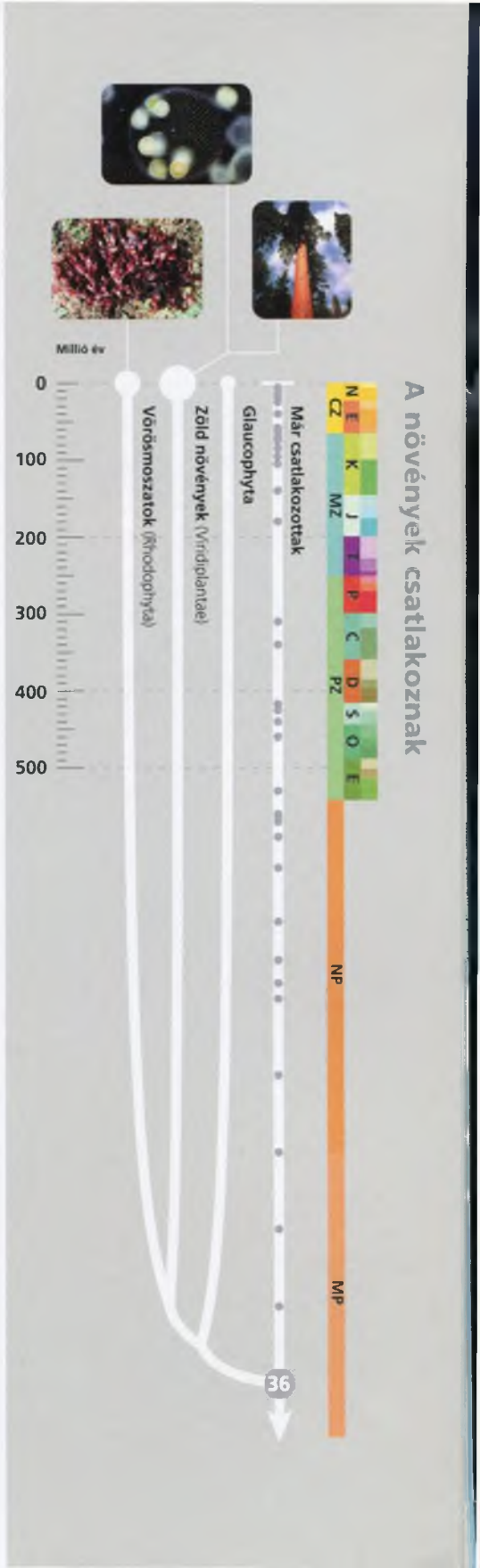
A NÖVÉNYEK CSATLAKOZNAK
A növények közé a Glaucophyták (egysejtű moszatok, amelyek színtesteinek morfológiája nagyon hasonlít a szabad cianobaktériumokhoz) 13 faja, a vörösmoszatok ötezer-egynéhány faja és a „zöld növények" mintegy 30 000 faja tartozik. A zöld növények magukban foglalják a számos egysejtű telepes zöldmoszatot, mint amilyen a *Volvox*, éppúgy, mint az ismertebb mohákat, páfrányokat, fenyőket, virágos növényeket és hasonlókat. E három csoport leágazásának sorrendje elég szilárdan megalapozott, de a növények pozíciója az eukarióták törzsfejlődésében általában véve vitatott (lásd a 37. találkozást).

KÉPEK BALRÓL JOBBRA:
ehető alga *(Rhodymenia palmata)*; volvox *(Volvox aurelia)*; mamutfenyő *(Sequoiadendron giganteum)*

tennünk, hogy „végső soron", hiszen a növényeket olykor másod- vagy harmadkézből fogyasztják el azok az állatok, amelyek más állatokat esznek.

De mi a helyzet a fotonevéssel, ami miatt jó ötlet egy helyben földbe gyökerezve ülni? Mi a helyzet a növényevéssel, szemben a növényi léttel, ami miatt jó ötlet mozogni? Nos, tekintettel arra, hogy a növények egy helyben vannak, az állatoknak mozogniuk kell, hogy megegyék a növényeket. De miért maradnak egy helyben a növények? Talán ahhoz lehet köze, hogy a talaj tápanyagainak felszívásához a földbe kell gyökerezniük. Talán túlontúl áthidalhatatlan a távolság a mozgáshoz szükséges legmegfelelőbb alak (szilárd és tömör) és a sok-sok foton összegyűjtéséhez szükséges legmegfelelőbb alak között (nagy felület, ebből adódóan kusza és ormótlan alak). Nem tudom biztosan. Bármi is az oka, a bolygónkon kialakult három nagy életforma közül kettő, a gombák és a növények szoborként egy helyben álnak, míg a harmadik csoport, az állatok sürgölődnek a legtöbbet, és a leglelkesebben ők jönnek-mennek. A növények még azt is az állatokkal végeztetik el, hogy sürögjenek helyettük, és e manipulációban gyönyörű színeikkel, formáikkal és illatukkal a virágok az eszközeik.**

Azok a zarándokok, amelyekkel itt, a 36. találkozáson összefutunk, nem mind zöldek. A legmélyebb megoszlás egyfelől a vörösmoszatok, másfelől a zöld növények (köztük a zöld moszatokkal) között van.*** A vörösmoszatok a tengerparton gyakoriak, akárcsak a különféle zöldmoszatok, amelyek bőségesen előfordulnak az édesvizekben is. A legismertebb tengeri moszatok azonban a barnamoszatok, és ezek a legtávolabbi rokonok is: úgyhogy csak a 37. találkozáson találkozunk velük. Azok közül, akiket a jelenlegi találkozáson köszöntünk, a szárazföldi növények a legtekintélyesebbek. A növények hamarabb hódították meg a szárazföldet, mint az állatok. Ez úgyszólván nyilvánvaló: ehető növények nélkül mit kerestek volna az állatoknak a szárazföldön? A nö-





vények talán nem közvetlenül költöztek a tengerből a szárazföldre, hanem az állatokhoz hasonlóan az édesvizeken keresztül jutottak ide.

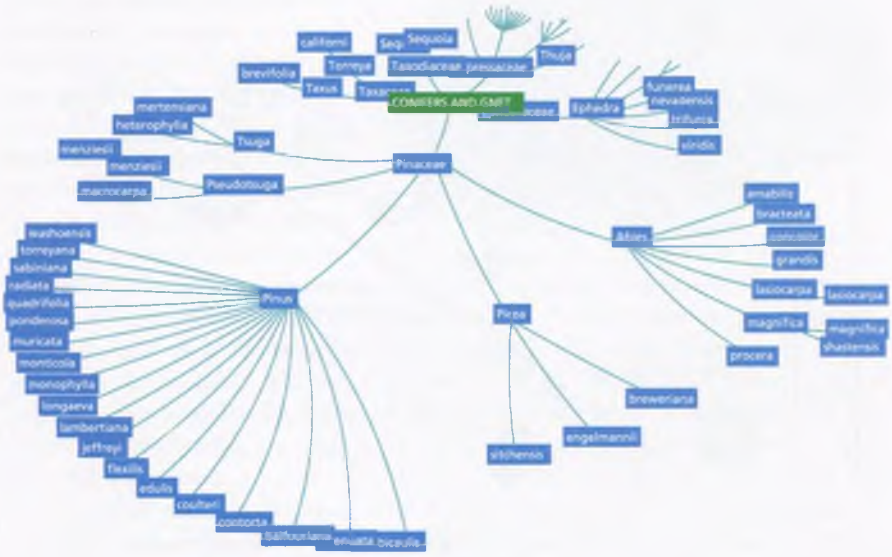
Mint általában, amikor egy nagy zarándokhadat köszöntünk, amikor meglátjuk őket, már olyan bonyolult alcsoportokban masíroznak felénk, amelyek már a velünk való találkozás „előtt" egyesítették soraikat. A zöld növények esetében melegen ajánlom a Deep Green nevű, bámulatosan jól elkészített számítógépprogramot, amely a könyv írásának idején az interneten is elérhető volt.* A Deep Green elindításakor egy gyökeres törzsfát látunk. Némelyik ág csúcsán egy növény vagy növénycsoport nevét találjuk. Másoknak nincs nevük, és „lemutatnak" a lapról. Ennek a programnak a szépsége abban rejlik, hogy egerünkkel megfoghatjuk a fát, és a legtermészetesebb és legtetszőlegesebb módon elhúzhatjuk, hogy többet lássunk belőle. Húzás közben gallyak sarjadnak a szemünk előtt, és ha körbeforgatjuk a fát, új, névtelen ágak kíséretében egész sereg új név jelenik meg a képernyőn. Aztán addig kalandozunk a fán, ameddig akarunk: végtelennek tűnik, ami arról vall, mily hatalmas változatosságot alakítottak ki a zöld növények. Ahogy látszólag könnyedén mászunk az ágakon, akár valami darwini majom az evolúciós fa mennyországban, ne feledjük, hogy minden elágazás, amellyel találkozunk, pontosan e könyv által használt értelemben vett valódi találkozáspontot jelent. Csodás lenne, ha lenne egy állatos változata is. Az alábbi ábra a tűlevelűek és a Gnetophyta törzs köré csoportosuló alfát jeleníti meg. Ha a számítógépes változatot látnánk, „megragadhatnánk" a *Sequoia* közelében legfelül lévő legyezőt, és lehúzhatnánk. Meglát-hatnánk, hogy a tíz ciprus nemzetséghez vezet. És így tovább. Az egyik előző mesét azzal fejeztem be, hogy mily öröm is egy ilyen korban zoológusnak lenni. Ugyanezt mondhattam volna a botanikusokról is. Micsoda öröm lenne bemutatni a Deep Greent – az éppen közeli barátja, Charles Darwin társaságában időző – Joseph Hookernek. Kis híján elsírom magamat, ha erre gondolok.

SZEMKÖZTI OLDAL

36. KÖZ-ÖS

A szemközti rekonstrukción ábrázolt egysejtű eukariótán jobboldalt, alul egy endoplazmatikus háló perforált lemezei által körülvett sejtmag látható. A sejt szerkezetét a sejtváz tartja meg (a fehér szálak hálózataként látható). A sejten belül több hosszúkás mitokondrium és különféle kis hólyagocska látható. Ez a köz-ős feltehetően egyrészt a korbácsszerű ostorának használatával, másrészt testrészeinek megnyújtásával haladt.

* *http://ucjeps.berkeley.edu/map2.html*
Macintoshon és víruskompatibilis PC-ken is fut, de a keresőn lennie kell Java-elérhetőségnek.



BÁRCSAK LETT VOLNA SZÁMÍTÓGÉPE DARWINNAK ÉS HOOKERNEK

A tűlevelűek és a gnethopytes köré csoportosuló alfa a Deep Green számítógépes programon: *http://ucjeps.berkeley.edu/Jepson_conifers.html*

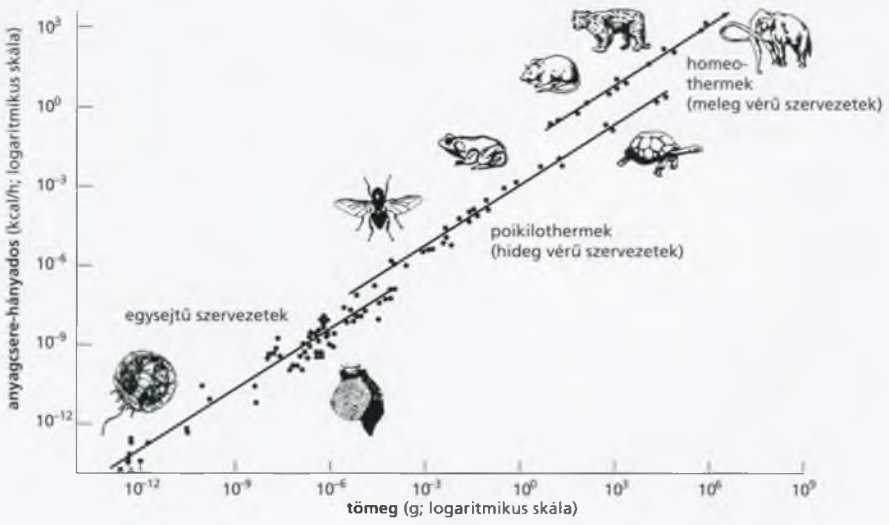
A KARFIOL MESÉJE *(társszerző: Yan Wong)*

A könyvben szereplő mesék célja több a mesemondó saját érdekkörénél. Akárcsak Chaucer meséi, ezek is az életről általában kívánnak szólni – ez esetben az emberi életről, a mi életünkről. Vajon mi mondanivalója akad a karfiolnak az állatsereglet számára, a 36. találkozás nagy egybesereglése után, amikor a növények csatlakoznak az állatokhoz? Egy fontos elv, amely minden növényre és minden állatra vonatkozik. A karfiol meséjét *Az ezermester meséje* folytatásának is tekinthetjük.

Az ezermester meséje az agyméretről szólt, és nagyszerűen eljátszogatott a különböző fajok összehasonlítására alkalmas szórásdiagramok logaritmikus módszerével. A nagyobb állatoknak mintha arányosan kisebb agyuk lenne, mint a kisállatoknak. Pontosabban a testtömeg és az agytömeg logaritmikus grafikonjainak lejtése egész pontosan 3/4 volt. Emlékezzünk csak, ez két elméletileg elgondolható lejtő: az 1/1 (az agytömeg egyszerűen arányos a testtömeggel) és a 2/3 (az agytérfogat arányos a testtömeggel) közé esett. Az agytömeg logaritmusának és a testtömeg logaritmusának kapott lejtése nemcsak nagyjából volt magasabb 2/3-nál és alacsonyabb 1/1-nél, hanem pontosan 2/3 volt. Az ilyen pontosságú adat hasonló pontosságot igényel az elmélettől is. Vajon elő tudunk állni valamiféle magyarázattal a 3/4-es lejtés ügyében? A feladat nem egyszerű.

A problémát bonyolítja, hogy a biológusok régi megfigyelése szerint az agyméret mellett sok más dolog is ezt a pontos 3/4-es viszonyt követi. Nevezetesen, a különféle szervezetek energiafelhasználása – az anyagcsere-hányados – a 3/4-es szabályt követi, úgyhogy ezt Kleiber törvénye néven a természeti törvény szintjére emelték, bár pontos magyarázatával nem tudtak szolgálni. Az alábbi grafikon az anyagcsere-hányados logaritmusának és a testtömeg logaritmusának a viszonyát ábrázolja (*Az ezermester meséje* értelmezi a logaritmikus grafikont).

A TÖRVÉNY MEGÁLL HÚSZ NAGYSÁGRENDNYI KÜLÖNBSÉG MELLETT IS
Kleiber-törvény grafikon, West, Brown és Enquist [304] alapján.



A Kleiber-törvényben az a legmeghökkentőbb, hogy a legkisebb baktériumtól kezdve a legnagyobb bálnáig igaznak bizonyul. Ez húsz nagyságrendnyi különbség. Össze kell szoroznunk tízet húszszor, vagy húsz nullát kell a tíz után írni ahhoz, hogy megkapjuk a legkisebb baktériumból a legnagyobb emlőst, és a Kleiber-törvény mindvégig igaznak bizonyul. Működik a növények és az egysejtű szervezetek esetében is. A grafikon mutatja, hogy a legjobb eredményt három párhuzamos vonallal kapjuk. Az egyik vonal a mikroorganizmusoké, a másik a hideg vérű nagy állatoké (a „nagy" itt mindenre vonatkozik, amely a gramm egymilliomod részénél nagyobb!), a harmadik a meleg vérű nagy állatoké (emlősök és madarak). Mindhárom vonalnak azonos a lejtése (3/4), de eltérő magasságúak: nem meglepő, hiszen a meleg vérű állatoknak méretüknél fogva magasabb az anyagcsere-hányadosuk, mint a hideg vérűeknek.

Évekig senki sem tudott igazán meggyőző érvet hozni a Kleiber-törvény alátámasztására, egészen addig, amíg a fizikus Geoffey West és két biológus, James Brown és Brian Enquist nagyszerű együttműködésének eredménye napvilágot nem látott. A 3/4-es törvény pontos matematikai levezetése olyan matematikai varázslat, amit nehéz szavakba önteni, de ami oly eredeti és lényeges benne, az megéri a fáradságot.

West, Enquist és Brown elmélete, amit a továbbiakban WEB-ként emlegetünk, abból a tényből indul ki, hogy a nagy organizmusok szövetei ellátási problémával küzdenek. Erről szól az állatok vérkeringési és a növények csőedényrendszere: vagyis a szövetek anyagcsere-forgalmát bonyolítják. A kis szervezetek nem ilyen mértékben néznek szembe ezzel a gonddal. A nagyon kis szervezeteknek a térfogatukhoz viszonyítva olyan nagy a felületük, hogy a szükséges oxigénhez a testfalon keresztül is hozzájutnak. Ám egy nagy organizmus szállítási problémákkal küzd, mert sejtjeinek többsége messze van a szükséges készletektől. El kell vezetniük az anyagot az egyik helyről a másikra. A rovarok szó szerint csővel vezetik a levegőt a szöveteikbe a tracheáknak nevezett csövek szövevényes hálózatán keresztül. Nekünk is vannak gazdagon elágazó légcsöveink, de ezek egy speciális szervre, a tüdőre korlátozódnak, amely viszont egy megfelelően gazdagon szétágazó vérrendszeren át juttatja el az oxigént a tüdőből a test többi részébe. A halak kopoltyúi hasonló feladatot látnak el: ezek is felületnövelő szervek, amelyek célja, hogy megnöveljék a víz és a vér közötti érintkező felületet. A méhlepény ugyancsak hasonló dolgot művel az anya vére és a magzat vére között. A fák gazdagon tagolódó ágaikat használják arra, hogy ellássák a leveleket a talajból felszívott vízzel, és visszapumpálják a cukrokat a levelekből a törzsbe.



A SZÖVETEK ELLÁTÁSI GONDOKKAL KÜZDENEK
A karfiol összetett ellátórendszere

Ez a helyi zöldségesnél frissen vett és kettévágott karfiol megmutatja, hogy néz ki egy tipikus anyagszállító rendszer. Láthatjuk, mennyi energiát fektet a karfiol abba, hogy szállítóhálózatot biztosítson külső „virágrügyekből" álló burkolatának.*

* A rügyeket ez esetben a mesterséges szelekció a háziasítással groteszkül módosította, de az elv ettől még érvényes.

No mármost elképzelhetjük, hogy az ilyen ellátórendszer – légcsövek, vér- vagy cukoroldatedények, vagy bármik legyenek is – tökéletes kárpótlást jelent a megnövekedett testméret miatt. Ha igen, egy derék karfiol tipikus sejtje pontosan olyan jól ellátott, mint egy mamutfenyő valamely jellegzetes sejtje, és a két sejt anyagcsere hányadosa azonos. Mivel egy szervezet sejteinek száma a test tömegével arányos, az összes anyagcsere-hányados és testtömeg szórásdiagramja, logaritmusskálára épülő tengelyekre vetítve 1-es lejtésű vonalra esne. Mégis, amit ténylegesen megfigyelünk, az a 3/4-es lejtés. A kis szervezeteknek a nagyokhoz képest nagyobb az anyagcsere-hányadosuk, mint amekkorának testtömegükhöz viszonyítva lennie kellene. Ez pedig azt jelenti, hogy a karfiolsejt anyagcsere-hányadosa nagyobb, mint egy megfelelő mamutfenyősejté, és egy egér anyagcsere-hányadosa nagyobb, mint egy bálnáé.

Első pillantásra ez különösnek tűnik. A sejt az sejt, és az ember azt gondolná, hogy van egy ideális anyagcsere-hányados, amely ugyanaz a karfiolnál, mint a vörösfenyőnél, az egérnél, a bálnánál. Talán van is. Ám mintha a víz, a vér, a levegő vagy bármilyen „anyag" szállítási nehézségei korlátoznák ezen ideál elérését. Valamiféle átmeneti megoldásnak kell lennie. A WEB-elmélet értelmezi ezt az átmeneti megoldást és azt, hogy miért pontosan a 3/4-es lejtőt eredményezi, mégpedig pontos, számszerű részletekig.

Az elmélet két kulcstényezőből áll. Az első az, hogy egy bizonyos térfogatnyi sejtnek anyagot szállító csővezeték szétágazó fája maga is elfoglal egy bizonyos térfogatot, így versenyezve a helyért azokkal a sejtekkel, amelyeket ellát. A szállítóhálózat csúcsa felé a csövek a maguk jogán jelentős helyet foglalnak el. Ha pedig megkétszerezzük az ellátandó sejtek számát, a hálózat térfogata több mint kétszeresére nő, mert több csőre van szükség a hálózatnak a fő rendszerre kötéséhez, márpedig a csövek maguk is helyet foglalnak el. Ha az ember úgy akarja megkétszerezni az ellátott sejtek számát, hogy a csövek által elfoglalt tér is csak a kétszeresére nőjön, akkor ritkább csőhálózatra van szükség. A második fő tényező az, hogy a leghatékonyabb szállítórendszer, vagyis amelyik az anyagok mozgatása közben a legkevesebb energiát pazarolja el, meghatározott százalékot foglal el a test térfogatából, mindegy, hogy egérről vagy bálnáról van-e szó. Ezt mutatják a számítások és a tapasztalatilag megfigyelt tények egyaránt.* Például az emlősök vérmennyisége (ebből adódóan a szállítórendszer nagysága) – mindegy, hogy egérről, emberről vagy bálnáról beszélünk-e – a test 6–7 százalékát foglalja el.

* A tényleges százalék attól függően egy kissé eltérhet, hogy mondjuk meleg vérűről vagy hideg vérűről van-e szó.

E két tényező összegződése azt jelenti, hogy ha meg akarjuk kétszerezni az ellátott sejtek mennyiségét, de továbbra is a leghatékonyabb szállítórendszert kívánjuk megtartani, akkor ritkábban elosztott szállítórendszerre van szükségünk. A ritkább hálózat viszont azt jelenti, hogy kevesebb anyag jut sejtenként, vagyis az anyagcsere-hányadosnak csökkennie kell. De pontosan mennyivel kell csökkennie?

A WEB kiszámolta a választ erre a kérdésre. Örömmel mondhatom, hogy a matematikai számítások egyenes vonalat jósolnak, pontosan 3/4-es lejtéssel az anyagcsere-hányados és a testméret viszonyát ábrázoló logaritmikus grafikonon. A Kleiber-törvény – a növények, az állatok, sőt az egyetlen sejten belüli szállítás esetében is – végül magyarázatra lelt. A szállítóhálózat fizikájából és geometriájából lehet levezetni.

A VÖRÖSFENYŐ MESÉJE

Az emberek vitatkoznak azon, melyik az az egyetlen hely a világon, amelyet feltétlenül fel kell keresnünk, mielőtt meghalunk. Az én jelöltem Muir Woods lenne a Golden Gate hídtól valamivel északra. Vagy ha túl későre hagyjuk a látogatást, nem tudnék elképzelni jobb örök nyugvóhelyet (leszámítva azt, hogy kétlem, hogy megengednék – és nem is szabadna). Zöldből, barnából és nyugalomból álló székesegyház ez, a *Sequoia sempervirens*, a Csendes-óceán-parti vörösfenyő, a világ legmagasabb fájából emelt főhajó, amelyeknek párnás kérge elnyeli azokat a visszhangokat, amelyek megtöltenének egy ember készítette építményt. A rokon faj, a *Sequoiadendron giganteum*, amely beljebb a szárazföldön, a Sierra Nevada előhegyeiben található, általában alacsonyabb, de vaskosabb. A világ legmagasabb élőlénye, a Sherman tábornok fa egy *giganteum*, amelynek kerülete több mint 30 méter, több mint 80 méter magas, és becsült súlya 1260 tonna. Pontos korát nem ismerjük, de tudjuk, hogy ez a faj több mint háromezer évig is él. A Sherman tábornok korát évnyi pontossággal megállapíthatnák, ha kivágnánk – ami nem kis vállalkozás volna, hiszen csak a kérge körülbelül egy méter vastag.* Bízzunk benne, hogy erre Ronald Reagan kaliforniai kormányzóként tett hírhedt megjegyzése („Ha az ember egyet látott, látta az összest") ellenére sem kerül sor soha.

* Valójában nem is kéne kivágnunk. Egy gesztminta is éppen elég lenne.

Hogyan lehetséges, hogy évre pontosan ismerjük egy hatalmas fa korát, még egy olyan öregét is, mint Sherman tábornok? Megszámoljuk a rönk évgyűrűit. Az évgyűrűszámlálás egy kifinomult módszere teremtette meg a dendrokronológia elegáns technikáját, amellyel az évszázados időtávlatokban dolgozó régészek pontosan meg tudják állapítani bármely fából készült lelet korát.

Erre a mesére maradt annak kifejtése, hogyan voltunk képesek zarándoklatunk során a történelmi mintadarabok korát abszolút időskálán elhelyezni. A fák évgyűrűi pontosak, de csupán a legközelebbi időszakokból fennmaradt történeti maradványokkal kapcsolatban. A kövületek korát más módszerekkel határozzuk meg, amelyek többnyire a radioaktív bomlásra épülnek, és ezekre más technikák mellett ebben a mesében is ki fogunk térni.



NINCS ENNÉL ALKALMASABB TEMETKEZÉSI HELY
Sequoiadendron giganteum, Sequoia Nemzeti Park, Kalifornia

A fák évgyűrűi arra a nem meglepő tényre épülnek, hogy a fák az egyes évszakokban többet gyarapodnak, mint másokban. Ugyanezen az alapon, eltekintve attól, hogy nyár van-e vagy tél, a fák többet gyarapodnak egy jó évben, mint egy gyengében. A jó évekből tizenkettő egy tucat, akár a rosszakból, így egy fagyűrű nem alkalmas valamely év azonosítására. Ám az évek sorozatának széles és keskeny gyűrűk formájában ujjlenyomata van, amely széles terület különböző fáin jelzi az adott sorozatot. A dendrokronológusok katalógusokba foglalják ezeket a megjelölt aláírásmintákat. Azután, mondjuk egy iszapba temetett viking hosszúhajóból származó fatöredék kora meghatározható úgy, hogy évgyűrűmintázatát összevetik a korábban begyűjtött aláírás-könyvtárakkal.

Ugyanezt az elvet alkalmazzák a dallamok szótárainál. Tegyük fel, hogy nem tudunk kiverni egy dallamot a fejünkből, de nem jut eszünkbe a dal címe. Hogyan lehetne megtalálni? Több elvet is alkalmaznak, amelyek közül a legegyszerűbb a Parsons-kód. Alakítsuk át dallamunkat egy fel-le sorozattá (az első hang természetesen *, mert nem mehet sem fel, sem le). Itt van például kedvenc dallamom, a Londonderry Air vagy Air from County Derry mintázata, amit éppen most gépeltem be a Melodyhound honlapra:

* F F F L F F L L L L L F F F F F L L L F L

A Melodyhound pontosan lenyomozta a dallamomat (csak „Danny Boy"-nak nevezte, mert az amerikaiak néhány beleszőtt, huszadik századi szó miatt ezen a címen ismerik). Elsőre meglepőnek tűnik, hogy egy dallam azonosítható lehet ilyen rövid jelsorozatból, amely csak a mozgásirányt közli, a távolságot nem és a hangok hosszára sem tartalmaz utalást). Mégis működik. Ugyanezen az alapon a fagyűrűk viszonylag rövid, egymást követő sorozata is elegendő az éves növekedési gyűrűk meghatározott sorozatának az azonosításához.



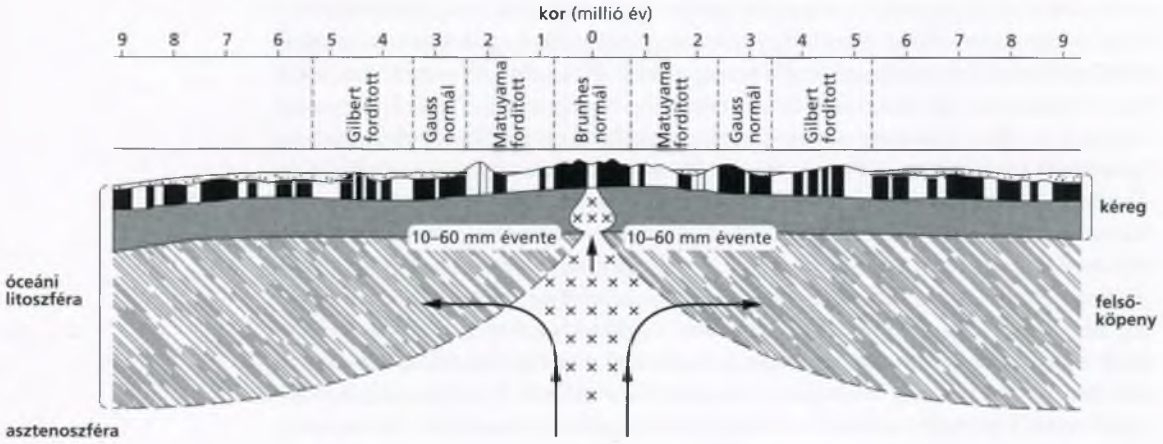
Az évek ujjlenyomata
Ennek a Black Forestből származó fenyőnek az éves növekedési gyűrűi igen közel állnak egymáshoz a külső szegély felé, ami savas esők miatti visszafogott növekedésre utal. Minthogy a fák gyűrűmintázata az évenkénti növekedés arányát is jelzi, információt közölhetnek az éghajlatról, és jelezhetnek olyan hirtelen légköri változásokat, amilyen például egy nagy vulkánkitörés után következik be.

Egy frissen kivágott fánál a legkülső gyűrű a jelennek felel meg. A múlt befelé számolva pontosan kiszámítható. Így abszolút időpontokat rendelhetünk az olyan közelmúltbeli fák gyűrűmintázatához, amelynek kidöntési időpontja ismeretes. Az átfedéseket – egy fiatal fa beléhez közeli és egy öregebb fa külső rétegeinek egymáshoz illő mintázatát – megvizsgálva abszolút évszámokat rendelhetünk az öregebb fa gyűrűmintázatához is. Az átfedéseket visszafelé láncra fűzve elvileg lehetséges a valóban igen öreg fák abszolút kormeghatározása – elvileg még az arizonai megkövült erdő esetében is, feltéve, hogy az átmenetet jelentő kövületek folyamatos sorozatával rendelkeznénk – bár így volna! Az egymást átfedő mozaikjátéknak ezzel a technikájával lenyomatminták könyvtára építhető ki, és hívható segítségül olyan fák azonosításához, amelyek régebbiek az elevenen látható legöregebb fáknál. A fagyűrűk eltérő vastagsága nem csupán a fa kormeghatározására szolgál, hanem arra is, hogy általuk mellékesen rekonstruáljuk a jóval az időjárási feljegyzések készítésének kezdetét megelőző éves éghajlati és ökológiai változásokat.

A dendrokronológia a régészek által ismert viszonylag közeli korokra korlátozódik. Ám nem csak a fanövekedés az egyetlen folyamat, amely évenkénti ciklusban, esetleg egyéb szabályos vagy szabálytalan időközönként ugrik meg és lassul le. Az egymást fedő mintázatok láncra fűzésének valamely eredeti trükkje segítségével elvileg bármely efféle folyamat felhasználható kormeghatározásra. Némelyik ilyen technika a dendrokronológiánál hosszabb időszakra is beválik. Az üledék egyenetlen ütemben rakódik le a tengerfenékre olyan csíkokban, amelyeket a fagyűrűk megfelelőinek tekinthetünk. Ezek a mély hengeres szondákkal nyert magmintákban számba vehetők és ismertetőjegyeik felismerhetők.

Egy másik példa, amellyel *Az elefántmadár meséjé*ben már találkoztunk, a paleomágneses kormeghatározás. Mint láttuk, a Föld mágneses mezeje bizonyos időközönként megfordul. Ami mágneses észak volt, hirtelen pár évezredre mágneses déllé válik, aztán újra átfordul. Ez az utóbbi 10 millió évben 282 alkalommal történt meg. Bár azt mondtam, „átfordul" meg „hirtelen", ez csak geológiai mértékkel mérve hirtelen. Bár szórakoztató lenne, ha egy mai sarokátfordulás minden repülőt és hajót megfordítana az útján, a dolgok nem így működnek. Az „átfordulás" valójában néhány évezred alatt következik be, és sokkal bonyolultabb, mint amit az átfordul szó sugall. A mindenkori mágneses Északi-sark ritkán esik egybe pontosan a földrajzi Északi-sarkkal (amely körül a Föld forog). Az évek során vándorol a sarkvidéken. Jelenleg a mágneses Északi-sark Észak-Kanadában, a Bathurst-sziget közelében, mintegy ezermérföldnyire fekszik a valódi Északi-sarktól. Az „átfordulás" során a mágneses zűrzavar interregnuma uralkodik, ami olykor több egyidejű északi és több egyidejű déli pólus megjelenésével is járhat. Végül a zűrzavar újra lecsillapodik, és amikor a por leül, kiderülhet, hogy a korábbi mágneses észak most a valódi Déli-sark közelében fekszik, és viszont. A vándorlással járó stabilitás aztán talán egymillió évre is, azaz a következő átfordulásig újra visszatér.

A geológia szemszögéből ezer év nem több egy futó kalandnál. Az „átváltásra" fordított idő elhanyagolható a valódi Északi-, illetve Déli-sark tágabb közelében eltöltött időhöz képest. A természet, mint korábban láttuk, automata nyilvántartást vezet ezekről az eseményekről. A megolvadt vulkanikus kőzetben bizonyos ásványok kis iránytűként viselkednek. Amikor az olvadt kőzet megszilárdul, ezek az ásványi tűk a Földnek a megszilárdulás pillanatában uralkodó mágneses mezejéről készült „le-



Mágneses csíkok egy óceáni gerinc mindkét oldalán. A sötét csíkok normális polaritást, a fehérek fordított polaritást jeleznek. A geológusok csoportosítják ezeket a normális vagy fordított polaritás által jellemzett mágneses intervallumokat. A csíkok szimmetriáját először Fred Vine és Drummond Matthews azonosította a tengerfenék-terjeszkedés bizonyítékaként egy 1963-ban a *Nature*-ben megjelent klasszikus tanulmányban [296]. Az együttesen litoszférának nevezett kérget és a köpeny szilárd felső rétegét a köpeny alsó részéből (asztenoszféra) feltörő olvadt magma szétnyomja. A csíkok sajátos mintázata lehetővé teszi, hogy mintegy 150 millió évvel ezelőttig megállapítsuk a tengerfenék kőzeteinek korát. A régebbi tengerfeneket az alábukás (szubdukció) elpusztította.

fagyasztott" feljegyzésévé szilárdulnak (a paleomágesesség meglehetősen eltérő eljárással az üledékes kőzetben is megfigyelhető). Egy-egy „átfordulás" után a kőzetben lévő parányi iránytűk az átforduláshoz képest átellenes irányba mutatnak. Olyan ez, mint a mindenütt ismétlődő fagyűrűk, eltekintve attól, hogy a csíkok nem éveket, hanem évmilliónkat jelölnek. A csíkok mintázatait itt is össze lehet párosítani más mintákkal, így a mágneses átváltások folyamatos kronológiája fűzhető össze. Abszolút évszámok nem állapíthatók meg a csíkok megszámolásával, mert a gyűrűkkel ellentétben a csíkok különböző hosszúságú időszakokat képviselnek. Mindazáltal a csíkok ugyanolyan azonosító mintázatát lehet összegyűjteni eltérő helyeken. Ha tehát rendelkezünk valahol egy abszolút kormeghatározásra alkalmas módszerrel (lásd alább), a mágneses csíkmintázat éppúgy felhasználható ugyanannak az időzónának az azonosítására egy másik helyen, mint a Parsons-kód a dallam azonosítására.

Az évgyűrűk a közelmúltbeli emlékek évnyi pontosságú kormeghatározására jók. A régebbi időpontok esetében, elkerülhetetlenül kevésbé finom hangolással, a radioaktív bomlás alaposan taglalt fizikáját aknázhatjuk ki. A magyarázatot kitérővel kezdjük.

Valamennyi anyagot *atomok* alkotják. Több mint százfajta atom létezik, melyeknek ugyanilyen számú *elem* felel meg. Elem például a vas, az oxigén, a kalcium, a klór, a szén, a nátrium és a hidrogén. A legtöbb anyag nem tiszta elemekből, hanem *vegyületek*ből áll, amikor különböző elemek két vagy több atomja fonódik össze, például kalcium-karbonáttá, nátrium-kloriddá vagy szén-monoxiddá. Az atomok vegyületekké szövődését az *elektronok* közvetítik, amelyek az atomok központi *atommagja* körül keringő parányi részecskék (mely metafora segít megérteni ennél jóval különösebb, valódi viselkedésüket). Az atommag az elektronhoz képest hatalmas, de parányi az elektron keringési pályájához képest. A főként üres térből álló kezünk kemény ellenállásba ütközik, ha rácsapunk egy vastömbre, amely ugyancsak többnyire üres térből áll, mivel két szilárd test atomjaihoz társuló erők úgy hatnak egymásra, hogy az elejét veszi az egymáson való áthatolásnak. Következésképpen a vas és a kő azért tűnik számunkra szilárdnak, mert agyunk a szilárdság illúziójának megalkotásával teszi nekünk a legjobb szolgálatot.

Már régóta tudjuk, hogy egy vegyület energiakibocsátással vagy -felhasználással alkotórészeire választható, amelyek újra összeállíthatók ugyanazzá vagy más vegyületté. Az atomok közt lejátszódó efféle könnyen jön, könnyen megy kapcsolatok alkotják a kémiát. Ám a huszadik századig magát az atomot sérthetetlennek gondolták. Az atom volt valamely elem lehető legkisebb része. Egy aranyatom parányi aranydarabka volt, amely minőségileg különbözött egy rézatomtól, a parányi rézdarabkától. A mai felfogás elegánsabb. Az aranyatom, a rézatom, a hidrogénatom stb. csupán ugyanazon alapvető részecskék eltérő elrendeződései, éppúgy, ahogy a lógéneknek, salátagéneknek, embergéneknek és baktériumgéneknek sincs alapvető ló, saláta, ember vagy baktérium „zamata", csupán ugyanannak a négy DNS-betűnek a különböző kombinációi. Ahogy a kémiai vegyületek régóta tudottan a százegynéhány atom véges repertoárjából összetevődő elrendeződések, ugyanúgy az egyes atommagok is két alapvető részecskéből, a *neutron*ból és a *proton*ból álló elrendeződéseknek bizonyulnak. Az arany atommagja nem aranyból áll. Mint minden más atommag, ez is protonokból és neutronokból áll. Egy vasatommag különbözik egy aranyatommagtól, de nem azért, mert egy vasnak nevezett, minőségileg különböző anyagból áll, hanem egyszerűen azért, mert 26 protont (és 30 neutront) tartalmaz az arany 79 protonja (és 118 neutronja) helyett. Az egyedi atomok szintjén nincs olyan „anyag", amely az arany vagy a vas tulajdonságaival rendelkezne. Nem egyebek, mint protonok, neutronok és elektronok különböző kombinációi. A fizikusok továbbmenve elmondják, hogy még a protonok, neutronok és elektronok is még alapvetőbb részecskékből, a kvarkokból tevődnek össze, de mi nem követjük őket ilyen mélységekbe.

A protonok és a neutronok nagyjából egyenlő nagyságúak, de sokkal nagyobbak az elektronoknál. A semleges neutronnal ellentétben minden proton egy elektromos töltettel rendelkezik (amit önkényesen pozitívnak neveztek el), amely pontosan kiegyenlíti az atommag körül „keringő" egyes elektronok negatív töltését. Valamely proton neutronná alakítható, ha elnyeli az elektront, amelynek negatív töltete közömbösíti a proton pozitív töltetét. Megfordítva, egy neutron protonná alakulhat, ha egységnyi negatív töltetet – egy elektront – kibocsát. Az ilyen átalakulások a nukleáris reakciók példái, szemben a kémiai reakciókkal. A kémiai reakciók érintetlenül hagyják az atommagot. A nukleáris reakciók megváltoztatják. Ezek általában jóval nagyobb energiacserével járnak, mint a kémiai reakciók, és ezért van az, hogy a nukleáris fegyverek sokkal pusztítóbbak, mint a hagyományos (kémiai) robbanóanyagok. Az alkimisták törekvése, hogy egyik fém elemet egy másikká változtassanak, csak azért nem sikerült, mert nem nukleáris, hanem kémiai eszközökkel próbálkoztak.

Minden elemnek jellemző számú proton és neutron van az atommagjában, s ugyanannyi elektron „kering" az atommagja körül: 1 a hidrogénben, 2 a héliumban, 6 a szénben, 11 a nátriumban, 26 a vasban 82 az ólomban, 92 az uránban. Ez az a szám, az úgynevezett atomszám, amely (az elektronok közvetítésével) jórészt meghatározza az elemek kémiai viselkedését. A neutronok nem sok hatást gyakorolnak az elemek kémiai tulajdonságaira, ám befolyásolják tömegüket, és befolyásolják nukleáris reakcióikat.

Valamely atommagnak általában nagyjából annyi neutronja van, mint protonja, esetleg kicsivel több. A protonszámmal ellentétben – ami minden adott elemnél ál-

landó – a neutronszám eltérő. A normál szénnek hat protonja és hat neutronja van, ami összes „tömegszámát" 12-re adja ki (mivel az elektronok tömege elhanyagolható, és a neutron körülbelül ugyanolyan súlyú, mint a proton). Ezért aztán szén 12-nek nevezzük. A szén 13-nak egy többletneutronja, a szén 14-nek kettővel több van, de valamennyi hat protonnal rendelkezik. Egy elem ilyen eltérő „változatait" nevezzük „izotópoknak". E három izotópnak azért van azonos neve: a szén, mert atomszáma valamennyinek 6, így kémiai tulajdonságaik ugyanolyanok. Ha a nukleáris reakciókat a kémiai reakciók előtt fedezték volna fel, talán az izotópok is más nevet kapnak. Néhány esetben az izotópok annyira különbözők, hogy kiérdemlik a külön nevet. A normál hidrogénnek nincsenek neutronjai. A hidrogén-2-t (egy proton és egy neutron) deutériumnak nevezik. A hidrogén-3 (egy proton és két neutron) a tritium. Kémiailag mindhárom hidrogénként viselkedik. Például a deutérium az oxigénnel vegyülve nehézvizet alkot, amely arról híres, hogy ezt használják a hidrogénbomba gyártásához.

Az izotópok tehát az elemre jellemző meghatározott számú proton mellett csupán neutronjaik számában különböznek. Valamely elem izotópjai között némelyiknek az atommagja nem stabil is lehet, vagyis hajlamos arra, hogy megjósolhatatlan pillanatban, de megjósolható valószínűséggel másféle atommaggá változzék át. Más izotópok stabilak, vagyis változásuk valószínűsége nulla. A nem stabilt más szóval radioaktívnak is nevezhetjük. Az ólomnak négy stabil és 25 ismert nem stabil izotópja van. A nagyon nehéz uránium fém valamennyi izotópja nem stabil – valamennyi radioaktív. A radioaktivitás a kulcsa a kőzetek és kövületek kormeghatározásának, ezért kellett kitérőt tennünk a magyarázatára.

Valójában mi is történik, amikor egy nem stabil, radioaktív elem egy másik elemmé alakul át? A dolog többféleképpen is lejátszódhat, de a két legismertebb mód az alfa-bomlás és béta-bomlás. Az alfa-bomláskor a szülő atommag elveszít egy „alfa-részecskét", amely két protonból és két neutronból összetapadt golyócska. Ennek következtében a tömegszám néggyel, de az atomszám csak kettővel csökken (mert csak két protont veszít). Így az elem kémiai értelemben valamely olyan elemmé alakul át, amelynek kettővel kevesebb protonja van. Az uránium-238 (92 protonnal és 146 neutronnal) tórium-234-re bomlik (90 protonnal és 144 neutronnal).

A béta-bomlás ettől eltérő. A szülő atommagban egy neutron protonná alakul, mégpedig egy béta-részecske kibocsátásával, amely nem más, mint egy egység negatív töltet, vagyis elektron. Az atommag tömegszáma változatlan marad, mivel a protonok és a neutronok összes száma változatlan marad, az elektron pedig túl kicsi ahhoz, hogy bezavarjon. A nátrium-24 béta-bomlással alakul át magnézium-24-é. A tömegszám azonos marad: 24. Az atomszám 11-ről, amely a nátrium kizárólagos jellemzője, 12-re változik, amely a magnézium kizárólagos jellemzője.

Az átalakulások harmadik fajtája a neutron és a proton helycseréje. Egy kóbor neutron az atommagnak nekiütközve kiüt a helyéről egy protont, és elfoglalja a helyét. Így – a béta-bomláshoz hasonlóan – a tömegszám nem változik, de a proton elvesztése miatt az atomszám egyel csökken. Ne feledjük, hogy az atomszám nem más, mint az atommagban lévő protonok száma. A negyedik módja annak, hogy valamely elem egy másik elemmé alakuljon át, s amely ugyanolyan hatással van az atomszámra és a tömegszámra, az elektronbefogás. Ez úgyszólván a béta-bomlás fordítottja. Míg a béta-bomláskor egy neutron egy elektron kibocsátásával

protonná változik, az elektronbefogás a töltés semlegesítésével alakít át egy protont neutronná. Így az atomszám eggyel csökken, de a tömegszám ugyanannyi marad. A kálium-40 (atomszáma: 19) ily módon bomlik le argon-40-re (atomszám: 18). A fentieken kívül más módjai is vannak egy atommag másféle atommá történő radioaktív átalakulásának.

A kvantummechanika egyik saroktétele szerint lehetetlen pontosan megjósolni, hogy egy nem stabil elem atommagja mikor bomlik. Viszont megmérhetjük előfordulásának statisztikai valószínűségét. Ez a mért valószínűség viszont egy adott izotóp rendkívül jellemző tulajdonságának bizonyul. A kedvelt mértékegység a felezési idő. Valamely radioaktív izotóp felezési idejének megméréséhez fogjunk egy darab anyagot, és mérjük meg, mennyi ideig tart, amíg pontosan fele valami mássá bomlik. A stroncium-90 felezési ideje 28 év. Ha van 100 gramm stroncium-90-ünk, 28 év múlva csak 50 gramm marad. A többi átalakul ittrium-90-né (amely viszont történetesen cirkónium-90-né alakul). Azt jelenti ez, hogy újabb 28 év múlva nem marad stronciumunk? Nyilván nem. 25 grammunk marad. Újabb 28 év múlva a stronciummennyiség megint megfeleződik: 12,5 grammra. Elvileg soha nem éri el a nullát, csupán egymást követő feleződésekkel megközelíti.

A szén-15 felezési ideje 2,4 másodperc, vagyis 2,4 másodperc elteltével az eredeti mintánknak csak a fele marad. Újabb 2,4 másodperc múlva az eredeti mintának csak a negyede, újabb 2,4 másodperc múlva már csak a nyolcada és így tovább. Az uránium-238 felezési ideje csaknem 4,5 milliárd év. Körülbelül ennyi idős a Naprendszer. Szóval, a Föld kialakulásakor itt lévő összes uránium-238-ból nagyjából a fele maradt. A radioaktivitásban az a szerfölött csodálatos és hasznos, hogy a különböző elemek felezési ideje oly hatalmas időszakot fog át, a másodperc töredékétől az évmilliókig.

Közelítünk a kitérő lényegéhez. Az, hogy minden radioaktív izotóp felezési ideje meghatározott, lehetőséget nyújt a kőzetek korának meghatározására. A vulkáni kőzet gyakran tartalmaz radioaktív izotópokat, így például kálium-40-et. A kálium-40 1,3 milliárd év felezési idő alatt bomlik le argon-40-né. Íme, egy pontos óra lehetősége. Ám nincs értelme, ha csupán a kőzet kálium-40-tartalmát mérjük meg. Ebből még nem tudjuk meg, mennyi volt, amikor elkezdődött a folyamat. Amire szükségünk van, az a kálium-40 és az argon-40 aránya. Szerencsére, amikor a kálium-40 egy kőzetkristályban lebomlik, az argon-40 (gáz) a kristály csapdájában marad. Ha a kristály anyagában azonos mennyiségű kálcium-40 és argon-40 található, akkor az eredeti kálium-40 mennyiség fele bomlott le. Tehát 1,3 milliárd év telt el a kristályképződés óta. Ha kétszer annyi argon-40 található benne, mint kálium-40, akkor 2,6 milliárd év telt el a kristály kialakulása óta. Ha kétszer annyi a kálium-40, mint az argon-40, akkor a kristály csak 650 millió éves. A kristályosodás pillanata, amely a vulkanikus kőzet esetében az a pillanat, amikor a láva megszilárdult, egyúttal az óra nullára állításának a pillanata is. Ezután a szülő izotóp állandóan bomlik, a leány izotóp pedig a kristályban reked. Nem kell mást tenni, mint megmérni a két mennyiség arányát, egy fizikakönyvben megnézni a szülőizotóp felezési idejét, és ebből könnyű kiszámolni a kristály korát. Mint korábban megjegyeztem, a kövületek általában üledékes kőzetben, míg a kormeghatározásra alkalmas kristályok a vulkanikus kőzetben találhatók, így magukat a kövületeket a rétegüket közrefogó vulkanikus kőzetek vizsgálatával, közvetett úton kapjuk meg.

A bonyodalmat az okozza, ha a bomlás első eredménye maga is nem stabil izotóp. Az argon-40, a kálium-40 bomlásának első eredménye stabil. Ám ha az urán-238 bomlik, nem kevesebb mint 14 köztes nem stabil állapot zuhatagán halad át, köztük kilenc alfa-bomláson és hét béta-bomláson, mielőtt végül megállapodna a stabil ólom-206 izotópban. A folyamat messze leghosszabb felezési ideje (4,5 milliárd év) az első átmeneté, az urán-238-ból a tórium-234-be. A folyamat egyik közbenső lépése, a bizmut-214 átalakulása tallium-210-zé, csak 20 perc felezési idejű, és még csak nem is ez a leggyorsabb (vagyis a legvalószínűbb). A későbbi átmenetek elhanyagolható ideig tartanak az elsőhöz képest, így az urán-238 és a végső, stabil ólom-206 arányát 4,5 milliárd év felezési időhöz mérhetjük valamely kőzet korának meghatározásakor.

Az urán/ólom vagy a kálcium/argon módszer az évmilliárdokban mérhető felezési idejük révén az igen régi kövületek kormeghatározásában hasznos. Túl durva viszont a fiatalabb kőzetek kormeghatározásához. Ezekhez rövidebb felezési idejű izotópokra van szükségünk. Szerencsére sokféle izotóp, különféle órák állnak rendelkezésünkre. Úgy választjuk meg a felezési időt, hogy a legjobb felbontást adja az éppen vizsgált kőzet esetében. Még ennél is jobb, hogy a különböző órákat egymás ellenőrzésére is fel lehet használni.

A leggyorsabb általánosan használt radioaktív óra a szén-14 óra, és ez teljesen visszajuttat bennünket a mese mesélőjéhez, hiszen a fa a leggyakoribb anyag, amit a régészek a szén-14-es kormeghatározásnak vetnek alá. A szén-14 felezési ideje 5730 év, és nitrogén-14-gyé bomlik. A szén-14 óra abból a szempontból szokatlan, hogy ezt maguknak az elhalt szöveteknek a kormeghatározására, nem pedig az azokat közrezáró vulkáni kőzet meghatározására használják. A szén-14 olyan fontos a viszonylagos közelmúltat – vagyis a kövületekénél jóval közelebbi, a rendesen archeológiainak nevezett történelmi kort – vizsgálók számára, hogy különleges elbírálást érdemel.

A legtöbb szén a világon a stabil szén-12 izotópból áll. A világ szénkészletének körülbelül egymillió-milliomod része áll a nem stabil szén-14 izotópból. Minthogy felezési ideje csak évezredekre terjed, valamennyi szén-14 régen nitrogén-14-re bomlott volna, ha nem újulna meg. Szerencsére a légkörben legnagyobb mennyiségben előforduló nitrogén-14 néhány atomja a kozmikus sugárzások által bombázva folyamatosan átalakul szén-14-gyé. A szén-14 keletkezésének aránya nagyjából állandó. A légkörben lévő legtöbb szén, akár szén-14-es, akár a gyakoribb szén-12 formájában, az oxigénnel kémiailag egyesülve szén-dioxidot alkot. Ezt a gázt lélegzik be a növények, amelyek a szénatomokat szöveteik felépítésére használják. A növények számára a szén-12 és a szén-14 ugyanúgy fest (mivel a növényeket csak a kémia „érdekli", és nem az atomok nukleáris tulajdonságai). A kétféle szén-dioxid körülbelül olyan arányban épül be, mint ahogyan rendelkezésre állnak. A növényeket megeszik az állatok, amelyeket esetleg más állatok esznek meg, így a szén-14 a szén-12-höz képest ismert arányban és felezési idejénél jóval rövidebb idő alatt szétszóródik a táplálékláncban. A két izotóp körülbelül ugyanabban az arányban – egy a millióhoz – fordul elő valamennyi élő szövetben, mint a légkörben. Persze néha nitrogén-14 atomokra bomlanak. Ám ezt az állandó arányt folyamatosan kiegyenlíti a folytonos cserélődés az örökké megújuló légköri szén-dioxiddal a táplálékláncon keresztül.

Mindez azonban a halál pillanatában megváltozik. Egy kimúlt ragadozó kapcsolata addigi táplálékaival megszakad. Egy elpusztult növény többé nem vesz fel friss szén-dioxidot a légkörből. Egy kimúlt növényevő nem fogyaszt többé friss növényeket. Egy kimúlt állatban a szén-14 azonban tovább folytatja nitrogén-14-re bomlását, és ezt nem pótolja tovább a légkörből nyert friss készlet. Egy holt szövetben csökkenni kezd a szén-14 és a szén-12 aránya. A csökkenés mértéke pedig 5730 év, a felezési idő. A lényeg tehát az, hogy a szén-14 és a szén-12 arányának mérésével meg tudjuk mondani, mikor pusztult el valamely állat vagy növény. Így bizonyították be, hogy a torinói lepel nem lehetett Jézusé – a középkorból származik. A szén-14-es módszer nagyszerű eszköz a viszonylag közelmúltbeli történelmi emlékek korának meghatározására. Nagyon régi kormeghatározásra nem használható, mert eközben csaknem az összes szén-14 szén-12-re bomlott, és a maradvány túl csekély a pontos méréshez.

Az abszolút kormeghatározásnak egyéb módszerei is léteznek, és folyamatosan újabbakat találnak föl. A sokféle módszerben az a szép, hogy együttesen oly hatalmas időszakot ölelnek föl. Emellett egymás ellenőrzésére is alkalmasak. Rendkívül nehéz vitába szállni az olyan kormeghatározásokkal, amelyeket különböző módszerek erősítettek meg.

37. TALÁLKOZÁS ■ BIZONYTALAN

37

„A mikroba az oly pirinyó
Észre sem veszed, az tudható,
De sok elmés férfi reméli
Mikroszkópon meglátni mégis
Ízes nyelvét odalent, lám
És száz különös fogsorát,
Hét bojtos farkát, rajta ezer
Bájos rózsás és bíbor pettyet
És mindegyiken egy mintát látsz
Amely negyven külön sávból áll
Szemöldöki oly lágyan zöldek,
Biz' senki sem látott még ilyet –
Ám a tudorok, akik tudják,
Hogy így van, egyre bizonygatják.
Óh, bár soha nem kétellenénk
Mit bizton nem tudhat az ki él."

HILAIRE BELLOC (1870–1953)
A *More Beasts for Worse Children* (Még több bestia rosszcsont gyerekeknek) című (1897) kötetből

Hilaire Belloc ragyogó versfaragó, de előítéletekkel teli ember volt. Ha a fenti versben akad egy csepp tudományellenes előítélet, ne csináljunk nagy ügyet belőle. Sok dologban a tudomány is bizonytalan. Amiben viszont felülmúlja a választható világnézeteket, az az, hogy mi ismerjük bizonytalanságunkat, sőt gyakran megmérhetjük nagyságrendjét, és optimistán dolgozunk a csökkentésén.

A 37. találkozáson belépünk a mikrobák világába és egyúttal a bizonytalanság birodalmába. A bizonytalanság nem is annyira magukat a mikrobákat, mint inkább a velünk való találkozásuk sorrendjét illeti. Arra gondoltam, hogy találgatásra építek, és kitartok tippjeim mellett, de ez nem volna tisztességes a többi találkozással szemben, amelyekkel kapcsolatban legalább némileg biztosabbak voltunk. Ha e könyv megjelenése késne egy-két évet, a megoldás esélyei jók lennének. Ám egyelőre fogadjuk Belloc versét a tudósoknak szóló figyelmeztető meseként. Azt tudjuk, kikkel találkozunk a következő egy, két vagy három találkozón, csak azt nem, milyen sorrendben, sőt azt sem, hány külön találkozásra kerül sor.

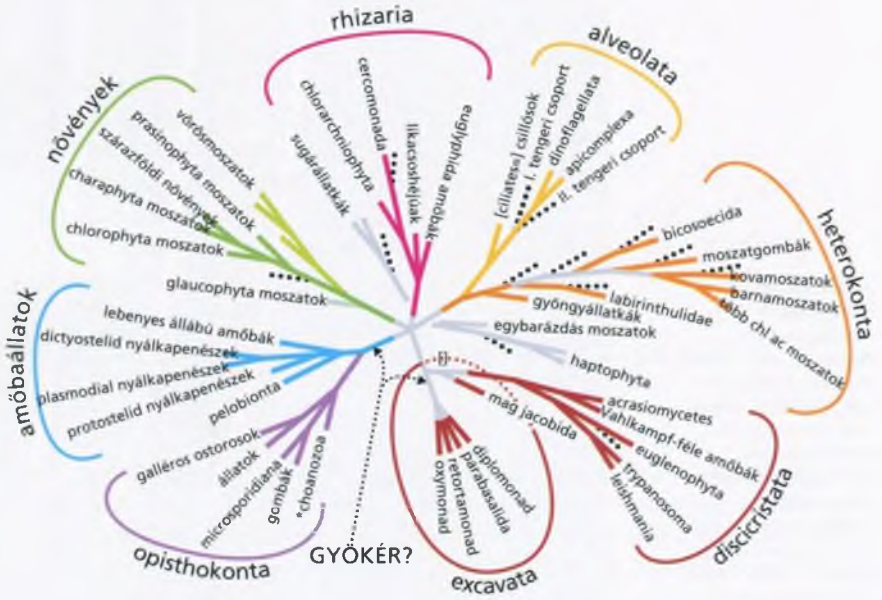
A többi eukarióta csatlakozik

A TÖBBI EUKARIÓTA CSATLAKOZIK
A maradék ötven-egynéhány ezer ismert eukarióta faj magas szintű törzsfája jelenleg még nem megoldott (lásd a szöveget). A halvány vonal jelzi a bizonytalanság jelenlegi magas szintjét. A Chromalveolata ágat gyakran tovább osztják Chromistákra (Heterokonta) és Alveolatákra, mint az a következő oldalon látható.

KÉPEK BALRÓL JOBBRA:
Giardia lamblia; *Euglena acus*; likacsoshéjúak (*Foraminifera*, *Globigerina*-faj); bőrmoszat (*Ecklonia radiata*)

Ez a bizonytalanság a zarándoklathoz ezután társuló valamennyi eukariótát érinti. Ezt a fontos szót a *Nagy Történelmi Találkozás*on világítjuk majd meg. Egyelőre annyit tudjunk, hogy az élet történetének egyik legjelentősebb eseménye az eukarióta sejt kialakulása volt. Az eukarióta sejtek azok a fallal körülevett maggal és mitokondriumokkal rendelkező, nagy és összetett sejtek, amelyek valamennyi állat, növény és valójában az eddig hozzánk csatlakozott valamennyi zarándok testét alkotják. A valódi baktériumok (Eubacteria) és a régebben ugyancsak baktériumoknak (Archaebacteria, ősbaktériumok) nevezett Archaea kivételével idetartozik az összes élőlény. Az előző két „prokarióta" alkotja majd a két utolsó találkozást, és történetesen ezekben biztosabbak vagyunk. Ezt a két utolsó találkozást önkényesen 38.-nak és 39.-nek nevezem. A többi eukarióta tehát mind együtt találkozik velünk a 37. találkozáson, ami jelenleg az egyik lehetséges elmélet. De ne feledjük, hogy ez nyílt kérdés: utolsó találkozásunk az igazi baktériumokkal bármelyik lehet a 39.-től a 42.-ig.

A probléma egyik része a gyökereztetés. Már találkoztunk ezzel *A gibbon meséjé*ben. Egy, az alábbihoz hasonló csillagdiagram sok evolúciós fával összeegyeztethető, és ez találkozásaink elrendezésének mind különböző megoldásával jár.



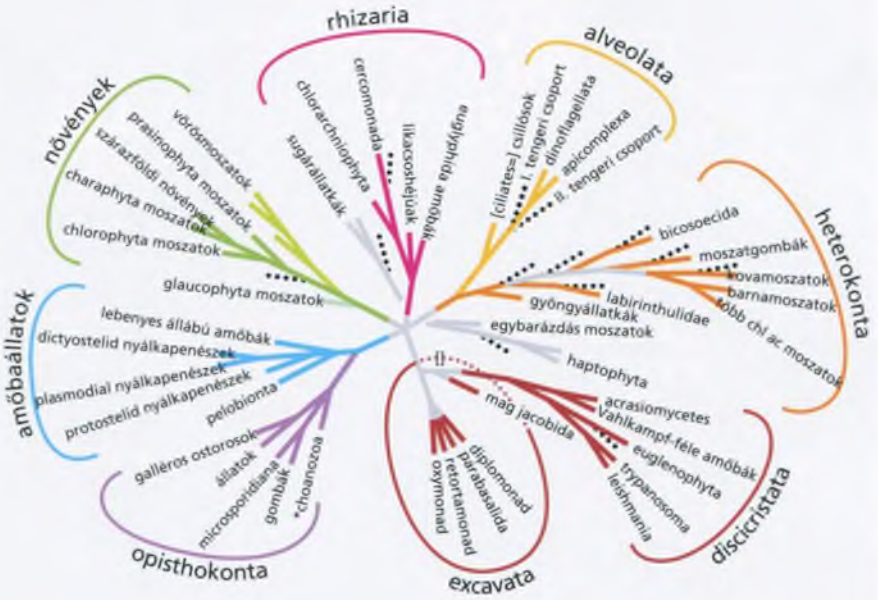
Figyeljük csak meg kellő alázattal, hova is tartozunk
Valamennyi élet gyökértelen törzsfája vagy csillagdiagramja, amely a jelenleg elérhető molekuláris és egyéb vizsgálatok egyeztetésével készült. Baldauf [13] alapján.

Mielőtt továbbmennénk a következő pontra, szenteljünk illő figyelmet az „állatok" címkével ellátott aprócska sornak. Ha nem találnák meg, akkor az ábra bal sarkánál lévő „Opisthokonta" ágon keressük, a Choanoflagellata (galléros ostorosok) testvérágaként. Idetartozunk valamennyien a 31. találkozásig hozzánk csatlakozott összes zarándokkal együtt.

Nyilvánvalóan több helyre is leengedhetnénk a gyökeret. Az a tény, hogy a két legerőteljesebben támogatott elmélet (amelyet a pontozott nyilak jeleznek) két ily távol álló végletet pártfogol, hozzájárult bizalmam megrendüléséhez. De a helyzet még rosszabb. A gyökér elhelyezése csak az első gondjaink sorából. A második prob-

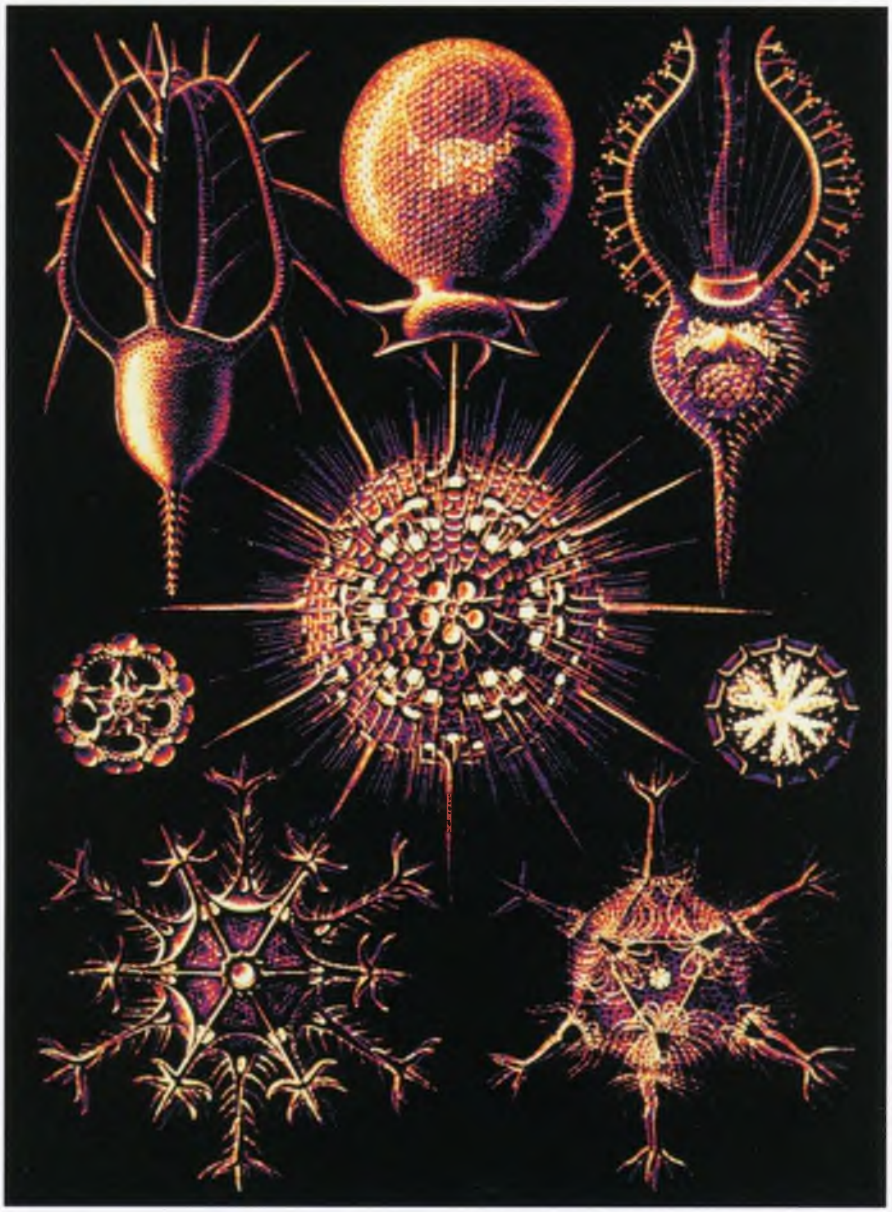
léma a középen egyetlen pontban találkozó öt vonalból adódik. Ez nem jelenti azt, mintha bárki is azt gondolná, hogy az az öt csoport ugyanabban a pillanatban egyetlen őstől fakadt, és valamennyien egyformán közeli unokatestvérei egymásnak. Amit ez jelent, az a még nagyobb bizonytalanság. Minthogy nem tudjuk, hogy az ötből melyek közelebbi unokatestvérei egymásnak, így ahelyett, hogy elköteleznénk magunkat egy esetleges tévedésnek, amiért joggal gúnyolna ki a néhai Belloc, úgy rajzoltuk meg őket, hogy egyetlen pontból sugározzanak ki. Annak a pontnak, ahol az öt vonal találkozik, végül fel kellene bomlania néhány elágazó vonalban. Potenciálisan ezen vonalak bármelyike lehet az a hely, hol letűzhetnénk a gyökeret.

Mostanra világos lehet, miért vonakodom elkötelezni magam a következő néhány találkozóhely mellett. Valóban, ha az ábrára nézünk, feltűnhet, hogy egy kissé elsiettem, amikor a 36. találkozási pontot neveztem meg a növények hozzánk csatlakozásának helyszíneként. A növények vonala egyike a csillag közepéből kiágazó öt vonalnak. Mivel a döntés innentől oly esetleges, úgy határoztam, a növényeket úgy kezelem, mintha külön találkozásunk lenne velünk, de pusztán azért, mert olyan hatalmas és jelentős csoport, hogy úgy tűnt, kiérdemlik saját külön csoportjukat. Gyakorlatilag olyan diagramot rajzoltam, amely a következőképpen fest:



Hasonlóan önkényesen eldönthetnénk, hogyan oldjuk fel a maradék hármasságot, de bátorságom végképp elhagy. Eltemetve hagyom hát a 37. – datálatlan – találkozás bizonytalanságában.

Ahelyett hogy letenném a garast a találkozás sorrendje mellett, egyszerűen áttekintem az eukarióták hátralévő csoportjait, és röviden bemutatom őket. A Rhizaria az egysejtű eukarióták különféle csoportjait tartalmazza, amelyek némelyike zöld és fotoszintetizál, míg mások nem. A legnevezetesebbek a Foraminifera (likacsoshéjúak) és a Radiolaria (sugárállatkák), mégpedig a szépségükről, amelyet senki nem ragadott meg oly pompásan, mint Ernst Haeckel, a kitűnő német zoológus, aki szün-



Senki nem ragadta meg őket oly pompásan, mint Ernst Haeckel
Ernst Haeckel rajza a Radiolariákról 1904-ben megjelent művéből, a *Kunstformen der Natur*ból [120] – számítógépes nagyítás.

telen felbukkanni látszik ebben a könyvben. Az Alveolata közé további gyönyörű lények tartoznak, beleértve a csillósokat és a Dinoflagellátákat. A csillósok közt találjuk, legalábbis látszatra a *Mixotricha paradoxát*, amelynek meséjét hamarosan meghallgatjuk. A „legalábbis látszatra" és a *„paradoxa"* képezik a mese tárgyát, amelynek poénját nem kívánom itt lelőni.

A Heterokonta ugyancsak vegyes csoport. Ide újabb gyönyörű egysejtű élőlények tartoznak, mint például a kovamoszatok, amelyeket szintén emlékezetesen örökített meg Haeckel. Ám ez a csoport ugyanakkor a többsejtűséget is felfedezte,

a barnamoszatok formájában. Ezek a legnagyobb és legkiemelkedőbb tengeri moszatok, melyek a 100 méteres hosszúságot is elérik. A barnamoszatok közé tartoznak a *Fucus* nemzetség képviselői, fajai a tengerpart elkülönült sávjaira korlátozódnak, ahol mindegyik tökéletesen illeszkedik a dagályciklus megfelelő zónájához. A *Fucus* lehetett az a nemzetség, amelyről a kis cafranghalat mintázhatták (lásd a meséjét).

A Discicristata-fajok fotoszintetizáló ostorosok, mint az *Eugena,* és paraziták, mint a *Trypanosoma,* amely az álomkórt okozza. Itt találjuk az Acrasida nyálkapenészeket, amelyek nincsenek közeli rokonságban a 35. találkozáson már megismert Dictyostelida nyálkapenészekkel. Mint oly gyakran e hosszú zarándoklaton, elcsodálkozhatunk az élet azon képességén, hogy hasonló testformákat találjon fel újra a hasonló életmódokhoz. A „nyálkapenészek" két, sőt három különböző zarándokcsapatban is felbukkannak, akárcsak az „amőbák" vagy az „ostorosok". Talán az „amőbát" éppoly életmódként kell elgondolnunk, mint a „fát". A „fák" faanyaggal szilárdított igen nagy növények, sok különböző növénycsaládban felbukkannak. Úgy tűnik, ugyanez érvényes az „amőbákra" és az „ostorosokra" is. Természetesen ez érvényes a többsejtűségre is, amely az állatoknál, a gombáknál, a növényeknél és a barnamoszatoknál, valamint még néhány egyéb helyen, így például a nyálkagombáknál is kialakult.

Megoldhatatlan csillagdiagramunk utolsó nagyobb csoportja az Excavata. Ezeket az egysejtű lényeket régebben ostorosoknak (Flagellata) nevezték, és a *Trypanosomá*val, az álomkór organizmusával vonták össze. A ma különválasztott Excaváták közé tartozik a kellemetlen bélparazita, a *Giardia,* a nemi úton terjedő, kellemetlen vaginális parazita, a *Trichomonas,* és különböző, elképesztően bonyolult egysejtű lények, amelyek kizárólag a termeszek bélcsatornájában találhatók meg. Ez jó ürügyet kínál egy meséhez.

A *Mixotricha* meséje

A *Mixotricha paradoxa* annyit jelent, 'meglepő szőrösszeállítás', és egy pillanat múlva azt is meglátjuk, miért. Ez a mikroorganizmus az ausztráliai termeszek – „Darwin termeszei" *(Mastotermes darwiniensis)* – bélcsatornájában él. Örömteli, bár nem szükségszerűen a helyiek számára, hogy éppen az észak-ausztráliai Darwin városa is azon helyek közé tartozik, ahol virágoznak.

A termeszek úgy terpeszkednek a trópusokon, mint valami felosztott kolosszus. A trópusi szavannákon és erdőkben népsűrűségük eléri a négyzetméterenkénti tízezret, és becslések szerint az összes termelődő kiszáradt fa-, elszáradt levél- és fűmennyiség egy harmadát emésztik el. Az egységnyi területre eső biomasszájuk két szerese a Serengetin és a maszáj Marán vándorló gnúnyájakénak, de szétterül az egész trópusokon.

A termeszek nyugtalanító sikerének forrása kettős. Egyfelől el tudják fogyasztani a fát, amely cellulózt, lignint és egyéb, az állatok által normális esetben megemészthetetlen anyagot tartalmaz. Erre még visszatérek. Másfelől erősen társas lények, és nagy gazdasági előnyhöz jutnak a specialisták közti munkamegosztásból. A termeszvárnak sok olyan vonása van, amelyek egy nagy, falánk organizmusra emlékeztetnek, saját anatómiával, saját fiziológiával és saját sárból szabott szervekkel,

köztük egy zseniális szellőző- és hűtőrendszerrel. Maga a vár egy helyben marad, de miriád szája, és hatmiriád lába van egy futballpálya nagyságú takarmánygyűjtő területen elterpeszkednek.

A termeszek legendás együttműködési mutatványa csak azért lehetséges egy darwini világban, mert az egyedek többsége steril, viszont közeli rokonságban van a valóban nagyon termékeny kisebbséggel. A steril dolgozók szülőkként bánnak fiatal testvéreikkel, miáltal szabaddá teszik a királynőt, hogy specializált petegyárrá váljék, méghozzá groteszk módon hatékonnyá. A dolgozói viselkedés génjei a dolgozók ama kisebbségben lévő testvérein át kerülnek a következő generációkba, amik szaporodásra rendeltettek (azon többségben lévő testvérek segítségével, akik sterilitásra rendeltettek). Mint látjuk, ez a rendszer csak azért működik, mert szigorúan nem genetikai döntés, hogy valamely fiatal termeszből dolgozónak vagy szaporítónak kell-e lennie. Valamennyi fiatal termesz kap egy genetikai szelvényt, amellyel részt vehet azon a környezeti lottósorsoláson, amely eldönti, szaporító vagy dolgozó lesz-e belőle. Ha volnának olyan gének, amelyek a feltétel nélküli sterilséget hordoznák, nyilvánvalóan nem volnának átadhatók. *Feltételesen* bekapcsolódó génekről van szó. Akkor adódnak tovább, ha királynőkben vagy királyokban találják magukat, mivel ugyanazoknak a géneknek a másolatai késztetik a dolgozókat, hogy e célból dolgozzanak és maguk mondjanak le a szaporodásról.

A rovartelepet gyakran hasonlítják az emberi testhez, és nem is alaptalanul. Sejtjeink többsége feladja egyediségét, s annak szenteli magát, hogy segítsék a szaporodásra képes kisebbséget: a herékben vagy a petefészekben lévő „csíravonal" sejteket, amelyek génjeinek az a rendeltetése, hogy a spermiumok és a peték közvetítésével a távoli jövő felé utazzanak. Ám egy gyümölcsöző munkamegosztásban a genetikai rokonság nem az egyedüli módja az egyediség feladásának. A természetes kiválasztás mindkét félnél elősegíthet bármifajta kölcsönös segítséget, ahol a felek kiigazítják a másik fogyatékosságát. Hogy lássunk egy szélsőséges példát, belebújunk egy termesz bélcsatornájába, ebbe a – feltételezem – zajosan fortyogó kemosztátba, amely a *Mixotricha*k világa.

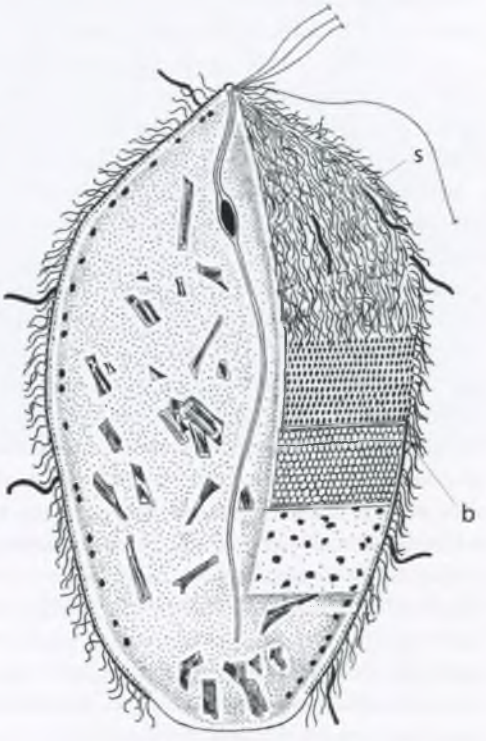
A termeszek, mint láttuk, további előnyt élveznek a méhekkel, darazsakkal és hangyákkal szemben, ami bámulatos emésztőképességükből adódik. Szinte semmi sincs, amit a termeszek meg ne tudnának enni: a házaktól a biliárdgolyókig és a kifejezhetetlen árú első kiadásokig. A fa potenciálisan gazdag tápanyagforrás, viszont erősen emészthetetlen cellulóz- és lignintartalma miatt csaknem az összes állat elutasítja. A kiemelkedő kivételek a termeszek és bizonyos csótányok. A termeszek valójában rokonai a csótányoknak, és a Darwin-termeszek, oly sok „alacsonyabb rendű" termeszhez hasonlóan egyfajta élő kövületek. Úgy is tekinthetjük őket, mint akik félúton vannak a csótányok és a fejlettebb termeszek között.

A cellulóz megemésztéséhez celluláz enzim szükséges. A legtöbb állat nem képes cellulázt előállítani, de némely mikroorganizmus igen. Mint azt *A Taq meséjé*ből megtudjuk, a baktériumok és az archaikusak biokémiailag sokoldalúbbak, mint az élővilág többi része összeadva. Az állatok és a növények csak egy töredékét képesek bemutatni annak a biokémiai trükkegyvelegnek, amely a baktériumok számára elérhető. A cellulóz emésztésekor a növényevő emlősök valamennyien a bélcsatornájukban lévő mikrobákra hagyatkoznak. Az evolúciós idő során olyan partnerkapcsolatba léptek, amelyben felhasználják a mikrobák által hulladékként termelt ve-

gyületeket, így például az ecetsavat. Maguk a mikrobák biztonságos kikötőre találnak, ahol rengeteg nyersanyag áll saját biokémiájuk rendelkezésére, ráadásul előfeldolgozott, apró, kezelhető darabkákra aprított formában. Valamennyi növényevő emlősnek baktériumok találhatók az alsó bélcsatornájában, amit a táplálék azt követően ér el, hogy az emlős saját emésztőnedvei már munkába vették. A lajhárok, kenguruk, kolobuszmajmok és különösen a kérődzők egymástól függetlenül alakították ki azt a trükköt, hogy baktériumokat tartanak bélcsatornájuk felső szakaszában, amelyek megelőzik az állat saját emésztési erőfeszítéseit.

A termeszek az emlősökkel ellentétben képesek maguknak cellulázt termelni, legalábbis az úgynevezett „fejlett" termeszek. Ám egy primitívebb (vagyis csótányszerűbb) termesz – mint a Darwin-termesz is – nettó súlyának akár harmadát is mikrobákból, azaz eukarióta protozoákból és baktériumokból álló gazdag fauna teszi ki. A termeszek keresik meg és rágják össze a fát apró, kezelhető darabkákra. A mikrobák a faforgácson élnek, amit a termesz saját biokémiai eszköztárából hiányzó enzimekkel emésztenek meg. Vagy azt is mondhatnánk, hogy a mikrobák eszközökké váltak a termeszek eszköztárában. Akárcsak a szarvasmarhák, a termeszek is a mikrobák hulladékán élnek. Alighanem azt is mondhatnák, hogy a Darwin-termeszek és a többi primitív termeszek mikroorganizmus-farmot tartanak a bélcsatornájukban.* És ez elvisz bennünket a mesét mondó *Mixotrichá*hoz.

A *Mixotricha paradoxa* nem baktérium. A termeszek bélcsatornájában élő sok mikrobához hasonlóan hatalmas, fél milliméter hosszú vagy még nagyobb protozoáról van szó, amely elég nagy ahhoz, hogy több százezer baktériumot foglaljon magában – mint majd látni fogjuk. A Darwin-termeszek bélcsatornáján kívül másutt nem fordul elő, ahol viszont egy mikrobákból álló vegyes közösség tagja, amely a termeszek csáprágói által felőrölt faforgácson él. A mikroorganizmusok olyan gazdagon benépesítik a termeszek bélcsatornáját, mint maguk a termeszek a termeszvárat, és a termeszvárak a szavannát. Ha a termeszvár termeszváros, minden termesz bélcsatornája egy mikroorganizmus-város. Kétszintű közösséggel van itt dolgunk. Ám – és ez a mese lényege – van itt egy harmadik szint is, amelynek részletei végképp figyelemre méltók. Maga a *Mixotricha* is egy város. A teljes történetet L. R. Cleveland és A. V. Grimstone munkássága tárta föl, de a *Mixotricha* evolúciós jelentőségére különösen Lynn Margulis hívta fel a figyelmünket.



Baktériumváros
A *Mixotricha paradoxa* metszete Cleveland és Grimstone nyomán [49]. A bal oldali rész az organizmus keresztmetszetét mutatja, a jobb oldali a felületet (a világosság kedvéért kissé felnagyítva), különböző, egyre mélyebb szinteken. A felületen lévő, „s"-sel jelölt apró „szőrök" *Spirochaeták*, míg az alattuk lévők pilulabaktériumok („b"-vel jelölve). A *Mixotricha* belsejében apró, megemésztetlen fadarabkák láthatók.

* Két fő eljárás létezik az energianyerésre a tápanyagból: az egyik az anaerob (oxigén nélküli), a másik az aerob (oxigénes). Mindkettő olyan kémiai sorozat, amelynek során a tápanyag nem ég el, hanem úgy csalogatják ki belőle az energiáját, hogy az hatékonyan felhasználható legyen. A leggyakoribb anaerob sorozat legfőbb terméke a piruvát, a leggyakoribb aerob folyamat kiindulópontja. A termeszek mindent elkövetnek azért, hogy megfosszák bélrendszerüket a szabad oxigéntől, rászorítva ezzel mikrobáikat, hogy csak anaerob folyamatot alkalmazzanak, amely fa tápanyagot használ piruvát termelésre, amit aztán a termeszek aerob energia felszabadításra használnak.



Összetéveszthetetlen bélyeg
Elektronmikroszkópos felvétel az ostor (flagellum) keresztmetszetéről. Tisztán látható, hogy a mikrocsövecskék egy központi pár körül kilenc párban rendeződnek el. Cleveland és Grimstone [49] nyomán.

Amikor J. L. Sutherland az 1930-as években először megvizsgálta a *Mixotrichát*, kétfajta „szőrt" látott hullámozni a felszínén. Csaknem teljesen beborították az ide-oda csapkodó ezernyi szőröcskék. Az első végén néhány igen hosszú, vékony, ostorszerű szerkezetet is látott. Mindkettő ismerősnek tűnt számára: a kisebb „csillóként", a nagyobb „ostorként". A csillószőrök gyakoriak az állati sejtekben: például orrjáratainkban, és ezek borítják azoknak a protozoáknak a felszínét is, amelyeket nem meglepően csillósoknak neveznek. A protozoák másik jól ismert csoportjának, az ostorosoknak jóval hosszabb, ostorszerű „flagellumaik" vannak. A csillóknak és az ostoroknak azonos belső szerkezetük van. Mindkettő a többeres kábelekre hasonlít, és az erek ugyanazon jellegzetes mintázatot alkotnak: kilenc párból álló gyűrű vesz körül egy központi párt.

A csillók tehát csupán kisebb, de számosabb ostornak tekinthetők, így Lynn Margulis odáig megy, hogy szakít a külön névvel, és az általa alkotott „undulipodia" névvel illeti őket, míg a „flagellumokat" megtartja a baktériumok teljesen más alkotórészének jelölésére. Mindazonáltal Sutherland korának taxonómiája szerint a protozoáknak vagy csillóik, vagy ostoraik vannak, de nem mindkettő.

Ez a háttere annak, miért nevezte el ezt a lényt Sutherland *Mixotricha paradoxá*nak: „meglepő szőrösszeállításnak". Sutherlandnek tehát úgy tűnt, a *Mixotricha* csillókkal és ostorokkal *egyaránt* rendelkezik. Márpedig ez megsérti a protozoológiai rendtartást. Elöl négy nagy ostora van, melyek közül három előre, egy hátrafelé mutat úgy, ahogy az ostorosok már korábban is ismert csoportjára, a Parabasaliára jellemző leginkább. Ugyanakkor hullámzó, sűrű csillóköpeny is borítja. Legalábbis úgy tűnt.

Mint kiderült, a *Mixotricha* „csillói" még annál is szokatlanabbak, amire Sutherland számított, és nem azzal sértik meg a rendtartást, amitől ő tartott. Sajnos Sutherlandnek nem volt lehetősége arra, hogy élőben lássa, csak a tárgylemezre merevítve. A *Mixotricha* túl simán úszik ahhoz, hogy saját undulipodiáival tegye. Cleveland és Grimstone szavaival az ostorosok „normális esetben különböző sebességgel úsznak, egyik oldalukról a másikra fordulnak, irányt változtatnak, olykor megállnak". Ugyanez érvényes a csillósokra. A *Mixotricha* simán siklik, rendszerint egyenes vonalon, és soha nem áll meg, hacsak fizikailag nem akadályozzák. Cleveland és Grimstone arra a következtetésre jutott, hogy a sima sikló mozgást a „csillók" hullámzása okozza, de – még ennél is izgalmasabb következtetésre jutva – elektronmikroszkóppal kimutatták, hogy a „csillók" egyáltalán nem csillók, hanem *baktériumok*. Mind a sok százezer apró szőröcske egy-egy *Spirochaeta* – azaz olyan baktérium, amelynek teste egyetlen tekergő szőr. Néhány súlyos betegséget – így például a szifiliszt – is a *Spirochaeták* okozzák. Általában szabadon úsznak, de a *Mixotricha Spirochaetái* rátapadtak a testfalra, pontosan úgy, mintha csillók volnának.

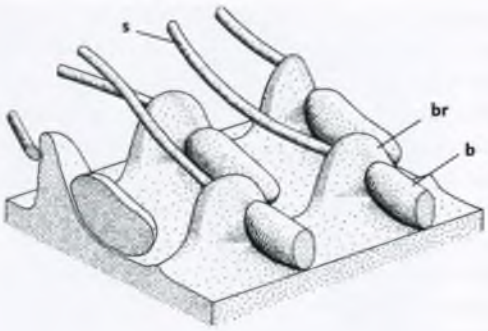
Mégsem úgy mozognak, mint a csillók, hanem, mint a *Spirochaeták*. A csillók aktívan előrelendítő evező ütemmel mozognak, amit regenerációs ütem követ, amikor úgy hajlanak meg, hogy kisebb legyen az ellenállásuk a vízben. A *Spirochaeták* teljesen más és igen jellegzetes hullámzó mozgást végeznek, és éppen ezt művelik a *Mixotricha* „szőrei" is. Meglepő módon úgy tűnik, mintha hullámzásuk összehangolt lenne, amely a test első felén kezdődik, és hátrafelé halad. Cleveland és Grimstone megmérték a hullámhosszat (a hullámtarajok közti távolságot), ami a milliméter századrészének bizonyult. Ez arra utal, hogy a *Spirochaeták* valamiként „érintkezésben" vannak egymással. Talán szó szerint érintkeznek: közvetlenül válaszolnak a szomszédok mozgására, melynek késése meghatározza a hullámhosszat. Nem hiszem, hogy ismert, a hullám miért elölről hátrafelé halad.

Azt viszont tudjuk, hogy a *Spirochaeták* nem véletlenül zsúfolódtak össze a *Mixotricha* bőrén. Ellenkezőleg, a *Mixotricha* felületén ismétlődő mintázatok bonyolult apparátusa áll rendelkezésre a *Spirochaeták* fogadására, ráadásul olyan, hogy azok hátrafelé álljanak, és hullámzó mozgásuk a *Mixotrichát* előrehajtsa. Ha ezek a *Spirochaeták* élősködők, akkor nehéz lenne figyelemre méltóbb példát találni arra, hogy a gazdaszervezet „barátságos" az élősködője iránt. Minden *Spirochaeta* saját kis talapzattal rendelkezik, amit Cleveland és Grimstone „konzolnak" nevezett. Minden konzol arra szolgál, hogy tartson egy vagy olykor több *Spirochaetát*. Többet egyetlen csilló sem követelhetne. Ilyen esetben elég nehézzé válik, hogy határvonalat húzzunk a „saját" test és az „idegen" test között. És ez e mese egyik legfőbb üzenete.



Egyetlen csilló sem kérhetne többet
A sejtfelszín hosszanti metszetének (a testtel párhuzamos) elektronmikroszkópos képe. A pilulabaktérium (b) és a konzolok (br) tisztán láthatók a rajtuk helyet foglaló *Spirochaetával* (s) együtt. Cleveland és Grimstone nyomán [49].

A csillóhoz való hasonlóság még mélyebb. Ha egy nagy teljesítményű mikroszkóppal megvizsgáljuk valamely csillós protozoa – mondjuk a *Paramecium* – testfelépítését, azt találjuk, hogy gyökerénél minden csilló úgynevezett alaptesttel rendelkezik. No mármost, meglepő, hogy bár a *Mixotricha* „csillói" egyáltalán nem csillók, mégis úgy tűnik, hogy van alaptestük. Minden *Spirochaeta*-hordozó konzolnak a tövénél van egy alaptest, ami úgy néz ki, mint egy vitamintabletta. Ha ezt figyelembe vesszük, könnyű megérteni, miért látott Sutherland „csillókat". Magától értetődően arra számított, hogy ahol csillók vannak, ott alaptesteket lát... és mit ad isten, ott voltak az „alaptestek". Nem tudhatta, hogy mind a „csillók", mind az „alaptestek" autó-



A pilulabatériumok (b), a konzolok (br) és *Spirochaeták* (s) elhelyezkedése a *Mixotricha* felszínén. Cleveland és Grimstone nyomán [49].

stoppos baktériumok. Ami a *Mixotricha* által birtokolt négy „ostort", az egyedül valóságos undulipodiát illeti, ezek egyáltalán nem előrehaladásra használatosak, hanem az ezernyi *Spirochaeta* „gályarab" által hajtott bárkát kormányzó evezők szerepét töltik be. Egyébként ez az érzékletes kifejezés bármennyire szeretném is, nem a sajátom. S. T. Tamm alkotta, aki Cleveland és Grimstone *Mixotrichán* végzett munkássága nyomán megállapította, hogy más termeszbéllakó protozoák ugyanezt a trükköt alkalmazzák, csak *Spirochaeták* helyett az ő gályarabjaik közönséges ostoros baktériumok.

De nézzük csak, vajon mit művel a *Mixotricha* másik baktériuma, az a pilula alakú baktérium, ami az alaptestre hasonlít? Vajon hozzájárul a gazda gazdálkodásához? Vajon maga nyer valamit a kapcsolattól? Talán igen, de ezt még nem mutatták ki meggyőzően. Talán éppen ők készítik a fát megemésztő cellulázt. Mert persze a *Mixotricha* azon – a termesz bélcsatornájában lévő – apró faforgácson él, amit eredetileg a termeszek erős csáprágói aprítottak föl. Olyan háromszintes függőséggel van itt dolgunk, amely emlékeztet Jonathan Swift versére:

> *„Nos, a tudorok megfigyeltek egy bolhát,*
> *Melynek kisebb bolhája éppen rá vadász,*
> *De ezeket is csípik még kisebbek, úgy,*
> *Hogy e folyamat zajlik* ad infinitum.
> *Ekként minden vérbeli költőt*
> *Csíp az, ki utóbb követi őt."*

Egyébként Swift verselése a középső sorokban (meglepő módon) oly otromba, hogy nem meglepő, August de Morgan miért állt elő újabb csípéssel, és hagyta ránk azt a rímet, amelyet ma legtöbben ismerünk:

> *„A nagy bolháknak kisebb bolhák,*
> *Hátán ülve vérét szívják,*
> *A kicsiknek még kisebbek,*
> *Soruk soha nem ér véget."**

* (*Müller Viktor fordítása.* In Maynard Smith, J. – Szathmáry E. (2000) *A földi élet regénye.* Vince Kiadó, Budapest. 111. o.)

És végül elérkeztünk a *Mixotricha* meséjének legkülönösebb részéhez, a csúcsponthoz, amelyre az egész történet irányult. A vállalkozásba kiadott biokémia eme egész története, az, hogy a nagyobb élőlények a bennük élő kisebbek biokémiai tehetségét kölcsönzik, evolúciós *déjà vu*vel terhes. A *Mixotricha* többi zarándokhoz intézett üzenete így hangzik: *Mindez már megtörtént korábban egyszer.* Elérkeztünk a *Nagy Történelmi Találkozás*hoz.

A Nagy Történelmi Találkozás

A „találkozások" ebben a könyvben a visszafelé irányuló zarándoklat központi metaforáját követve, különleges értelemmel bírnak. Van azonban egy kataklizmaszerű esemény, vitathatóan az élet történetének legdöntőbbike, amely valódi találkozás volt, szó szerint egy történelmi találkozás, amely a történelem valódi, előremutató irányában zajlott le. Ez nem volt más, mint az eukarióta (sejtmagvas) sejt eredete: azé a csúcstechnológiájú, miniatűr gépé, amely a mikrovilágbeli alapja e bolygó minden nagy formátumú és összetett életének. Hogy megkülönböztessem a többi, hátrafelé irányuló találkozástól, Nagy Történelmi Találkozásnak nevezem. A *történelmi* szó itt kettős értelemben szerepel: egyrészt jelenti azt, hogy nagy jelentőségű, másrészt azt is, hogy előreirányuló kronológiájú a fordított helyett.

A Nagy Történelmi Találkozásra egyetlen eseményként utalok, mert ma egyetlen jelentős következménynek, az eukarióta sejt kialakulásának látszik, melynek kromoszómákat tartalmazó sejtmagja, összetett belső membránszerkezete és olyan önreprodukáló miniatűr szervecskéi vannak, mint a mitokondriumok és (a növényekben) a színtestek. Valójában azonban mindez két vagy három, időben esetleg nagy távolságok által elkülönített esemény volt. E történelmi találkozások mindegyike baktériumsejtekkel való egybeolvadással és így nagyobb sejtek kialakulásával járt. A *Mixotricha* meséje, amely mindennek újabb lejátszásáról szólt, felkészített bennünket arra, ami történt.

Talán 2 millió évvel ezelőtt, egy ősi egysejtű szervezet, valamiféle proto-protozoa különös kapcsolatba lépett egy baktériummal: olyanba, amely hasonlít a *Mixotricha* és a baktériumai közötti viszonyhoz. Akárcsak a *Mixotrichával*, ugyanaz a dolog több baktérium szereplésével többször is megtörtént, amely eseményeket talán százmillió évek választották el egymástól. Valamennyi sejtünk emlékeztet egy-egy *Mixotrichára*: mindegyik meg van pakolva olyan baktériumokkal, amelyek a gazdasejttel létrejött együttműködés nemzedékei alatt annyira átalakultak, hogy bakteriális eredetük kis híján észrevétlenné vált. Akárcsak a *Mixotricha* esetében, de még annál is inkább, a baktériumok oly sűrűn belegabalyodtak az eukarióta sejt életébe, hogy hatalmas tudományos diadalnak számított kinyomozni, hogy egyáltalán ott vannak. Kedvelem a vigyorgó fakutya hasonlatot, amit Sir David Smith, a szimbiózis egyik vezető szakértője vetett be, a valaha elkülönült elemek sejten belül együttműködő együttélésével kapcsolatban:

> A sejt életterében egy hódító organizmus lassan elveszítheti önmaga egyes darabjait, és beleolvadhat az általános háttérbe úgy, hogy korábbi létéről csak néhány emlék árulkodik. Valójában a helyzet hasonlít Alice és a vigyorgó fakutya találkozására a Csoda-

országban. Amint elnézte, „egész lassan elenyészett, kezdve a farkával, és végezve a vigyorával, amely egy darabig még azután is látható volt, hogy a többi semmivé vált". Számos olyan tárgy akad egy sejtben, mint a vigyorgó fakutya. Azok számára, akik megpróbálják kinyomozni eredetüket, a vigyor kihívó és valóban rejtélyes.

Mik azok a biokémiai trükkök, amelyeket ezeket az valaha szabad baktériumok behoztak az életünkbe: trükkök, amelyeket a mai napig bemutatnak, trükkök, amelyek nélkül az élet azonnal megszűnne? A két legfontosabb közül az első a fotoszintézis, amely napenergiát használ szerves összetevők szintetizálásához, valamint melléktermékként oxigénnel látja el a levegőt, másrészt az oxidáló anyagcsere, amely (végül is a növényekből nyert) oxigént használva lassan elégeti a szerves vegyületeket, és újra mozgósítja az eredetileg a napból származó energiát.* Ezeket a vegyi technológiákat (különféle) baktériumok már a Nagy Történelmi Találkozás előtt kifejlesztették, és bizonyos értelemben a baktériumok máig az egyedüli játékosok. Mindössze annyi változott, hogy biokémiai művészetüket most az eukarióta sejtek céltudatosan megépült gyáraiban gyakorolják.

* A baktériumok (köztük az Archaea) a nitrogén megkötésében is monopol szerepet játszanak (eltekintve a villámcsapástól és az emberi vegyipartól).

A fotoszintetizáló baktériumokat régebben kék-zöld moszatoknak nevezték, amely azért volt szörnyű név, mert többségük nem kék-zöld és egyikük sem moszat. Többségük zöld, és szerencsésebb őket zöld baktériumoknak hívni, noha akad köztük vöröses, sárgás, barnás, feketés és igen, néhány esetben még kékeszöld is. Olykor a „zöld" szóval illetik a fotoszintetizálókat is, ebben az értelemben is jó a zöld baktérium elnevezés. Tudományos nevük a cianobaktériumok. Ezek valódi baktériumok, nem úgy, mint az Archaea, és egész jó monofiletikus csoportnak is tűnnek, vagyis valamennyien (de rajtuk kívül senki) egyetlen őstől származnak, amely maga is a cianobaktréiumok közé tartozott volna.

A moszatok, a káposzták, a fenyőfák és a füvek zöld színüket a sejtekben lévő apró zöld színtestektől, a kloroplasztiszoktól nyerik. A kloroplasztiszok egykor szabadon élő zöld baktériumok távoli leszármazottai. Még most is megvan saját DNS-ük, és még ma is ivartalan osztódással szaporodnak, amellyel jelentős számú népességet növelnek a gazdasejtekben. Ami a kloroplasztiszt illeti, ez a zöld baktériumok szaporodó populációjának egyik tagja. Az a világ, amelyben él és szaporodik, a növényi sejt belseje. Világa időről időre kisebb felbolydulást szenved, amikor a növényi sejt két leány sejtté osztódik.

A kloroplasztiszok nagyjából fele egy-egy leány sejtben találja magát, ahol hamarosan visszatérnek rendes szaporodó állapotukhoz, hogy a kloroplasztisszal népesítsék be új világukat. Mindeközben a zöld prigmentjüket használják a nap fotonjainak befogására és a napenergia hasznosítására, amikor a gazdanövény által szállított szén-dioxidból és vízből szerves vegyületeket szintetizálnak. Az oxigénhulladékot részben a növény hasznosítja, részben pedig a leveleken lévő lyukakon, a sztómákon keresztül kilélegzi a levegőbe. A kloroplasztiszok által szintetizált szerves vegyületek végül is a gazdanövénysejt számára rendelkezésre állnak.

Érdekes módon emlékeztet *A* Mixotricha *meséjé*re, hogy néhány kloroplasztisz magán viseli annak bizonyítékát, hogy közvetett módon, más – feltehetően moszatoknak nevezhető – eukarióta sejtek belsejében üldögélve kerültek a növényi sejtekbe. A bizonyíték az, hogy némely kloroplasztisznak kettős membránja van. Feltehetően a belső fal az eredeti baktériumé, a külső pedig a moszaté. A *Mixotricha*hoz hasonlóan számos gomba- és állatszövetbe beépült zöldmoszat példáján lát-

hatjuk a folyamat legutóbbi újrajátszását. Ilyen például a korall-lakó moszat. Az egyes membránú kloroplasztiszok feltehetően közvetlenül, nem a moszatok uszályán kerületek a sejtekbe.

A légkörben lévő összes szabad oxigén a szabadon élő és a kloroplasztiszok formáját öltő zöld baktériumoktól származik. Mint korábban említettem, amikor az oxigén először megjelent a légkörben, méreg volt. Némelyek erre rávágják, hogy valójában most is méreg, ezért ajánlják az orvosok, hogy fogyasszunk „antioxidánsokat". Az evolúció során ragyogó kémiai fegyvertény volt annak felfedezése, hogyan használunk oxigént a szerves vegyületekből történő energianyerésre (eredetileg napenergiáról volt szó). Ez a felfedezés, amely egyfajta fordított fotoszintézisnek is tekinthető, kizárólag a baktériumok műve volt, de egy másik fajta baktériumé. Akárcsak a fotoszintézis esetében, a baktériumok itt is monopol helyzetet élveznek a technológia terén, de eltekintve attól, hogy megint csak a fotoszintézishez hasonlóan, a mieinkhez hasonló eukarióta sejtek adnak otthont ezekek az oxigénrajongó baktériumoknak, amik mitokondriumok néven utazgatnak újabban. A mitokondriumok biokémiai varázslata révén annyira függővé váltunk az oxigéntől, hogy az állításnak, miszerint az oxigén méreg, csak akkor van értelme, ha jól megfontolt paradoxonként tesszük. A szén-monoxid azáltal halálos méreg az autók kipufogógázaiban, mert az oxigénnel verseng az oxigénszállító hemoglobinmolekulák kegyeiért. Az ölés gyors módja, ha az áldozatot megfosztjuk az oxigéntől. Saját sejtjeink azonban segítség nélkül mégsem tudnák, mihez kezdjenek az oxigénnel. Ezzel csak a mitokondriumok és baktérium unokatestvéreik vannak tisztában.

Akárcsak a kloroplasztisz esetében, a molekuláris összehasonlítás elárulja azt a baktériumcsoportot, amelyből a mitokondriumok származnak. Eszerint a mitokondriumok az úgynevezett alfa-proteo baktériumoktól erednek, ezért a rickettsiák rokonai, amelyek a tífusz és egyéb csúnya betegségek okozói. Maguk a mitokondriumok genomjuk jó részét elveszítették, és teljesen alkalmazkodtak az eukarióta sejten belüli élethez. Viszont a kloroplasztiszhoz hasonlóan, továbbra is önállóan, osztódással szaporodnak, így alakítva ki populációikat az egyes eukarióta sejteken belül. Bár a mitokondriumok génjeik többségét elveszítették, a molekuláris genetikusok szerencséjére azért mégsem az összest, miként azt e könyvön át mindvégig láthattuk.

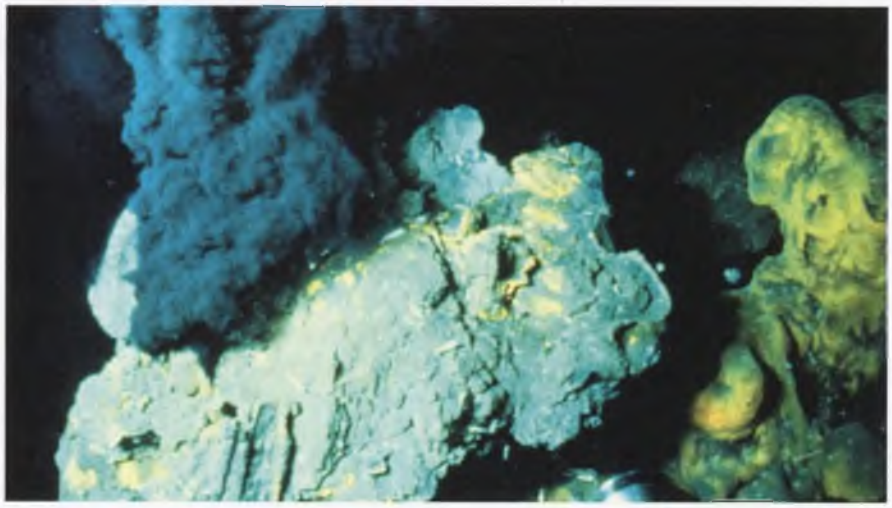
Lynn Margulis, akinek nagyrészt az az egész – ma már egyetemesen elfogadott – elképzelés köszönhető, miszerint a mitokondriumok és a kloroplasztiszok szimbionta baktériumok, megpróbálta ugyanezt bebizonyítani a csillókról is. *A* Mixotricha *meséjében* látott újrajátszások lehetőségétől felbuzdulva a csillókat is a *Spirochaeta* baktériumokra vezeti vissza. A *Mixotricha*-párhuzam szépségének és meggyőző voltának fényében sajnálatos, hogy bizonyítékait, miszerint a csillók (undulipodiumok) szimbionta baktériumok, csaknem mindenki elégtelennek találta azok közül, akiket Margulis bizonyítékai a mitokondriumok és a kloroplasztiszok esetében meggyőztek.

Mivel a Nagy Történelmi Találkozás valódi találkozás az előretekintő történelmi irányban, zarándoklatunknak innentől kezdve szigorúan meg kell oszlania. Követnünk kell az eukarióta hadrend különféle résztvevőit hátrafelé irányuló zarándoklatukon, amíg végül a múlt mélyén újra egyesülnek, ugyanakkor azt hiszem, ez indokolatlanul bonyolult utazás lenne. Mind a kloroplasztiszokat, mind a mitokondriumokat a valódi baktériumokhoz (Eubacteria) fűzik rokoni szálaik, nem a másik prokarióta csoporthoz, az Archaeához. Viszont sejtmaggénjeink némileg az Archaeákéhoz hasonlóak, így hátratekintő történetünkben most velük találkozunk.

38. TALÁLKOZÁS ■ ARCHAEA

38

A 37. találkozáson történteket és az azt illető bizonytalanságomat követően, hogy valójában hány találkozás is rejtőzik egy fejezetcím mögött, megkönnyebbülés visszatérni egy olyan találkozáshoz, amellyel kapcsolatban többnyire megegyeznek a vélemények. Valamennyi eukarióta zarándok – legalábbis sejtmagbeli génjeik – a korábban Archaebaktériumoknak nevezett Archaeákkal találkoznak legközelebb. Az, hogy ez most a 38., a 39., a 40. vagy a 41. találkozáson történik-e, az akár közpréda (vagy inkább a következő néhány év kutatási témája) is lehet. Abban azonban egyetértés uralkodik, hogy a prokariótákat – vagy ha valaki még mindig jobban szereti így szólítani őket –, a baktériumokat két igen különböző csoport alkotja: az Eubacteria (valódi baktériumok) és az Archaea. Az uralkodó nézet szerint az Archaea közelebbi unokatestvéreink nekünk, mint az eubaktériumoknak, ezért helyeztem a két találkozást olyan sorrendbe, amilyenben szerepelnek. Ám e ponton jusson eszünkbe, hogy a Nagy Történelmi Találkozás páratlan körülményei miatt sejtjeink bizonyos részei közelebb állnak az eubaktériumokhoz, még akkor is, ha sejtmagunk az Archaeával tart rokonságot.



A KÉNEVŐK
Forró vizes kürtő vagy „fekete füstölő" a Közép-Atlanti-hátságon. A kürtő ásványokban és kénvegyületekben gazdag, több száz Celsius-fokos forró vizet lövell ki. Az ilyen kürtők adnak otthont egy sor forróságkedvelő Archaeának és eubaktériumnak.

Oxfordi kollégám, Tom Cavalier-Smith – akinek az élet korai evolúciójáról vallott nézetei a mikrobák változatosságról szerzett hatalmas tudására épülnek – alkotta meg a Neomura nevet, amelybe beleérti mind az Archaea csoportot, mind az eukariótákat, de kizárja belőle az eubaktériumokat. A *baktérium* szóba beleérti az eubak-

Az archaeák csatlakoznak
A sejtmag-DNS, valamint biokémiai részletek és a sejtszerkezet alapján a legtöbb szakértő véleménye szerint az Archaea az Eukaryota testvércsoportja. Azonban, ha mitokondriális DNS-t használnánk, a legközelebbi rokonaik az alfa-proteobaktériumok lennének, mert egykor a mitokondriumok is azok voltak (lásd *A Nagy Történelmi Találkozást*). Az Archaeákat általában két csoportba sorolják: az egyik a Crenarchaeotes, a másik az Euryarchaeotes. A hőforrásokból származó DNS-szekvenciák arra utalnak, hogy van egy másik, korán elágazott ág is, a Korarchaeotes, de ilyet valójában még nem láttak. A fajok számát nem adtuk meg, mert nem világos, mit is jelent a „faj" egy ivartalan szervezet esetében.

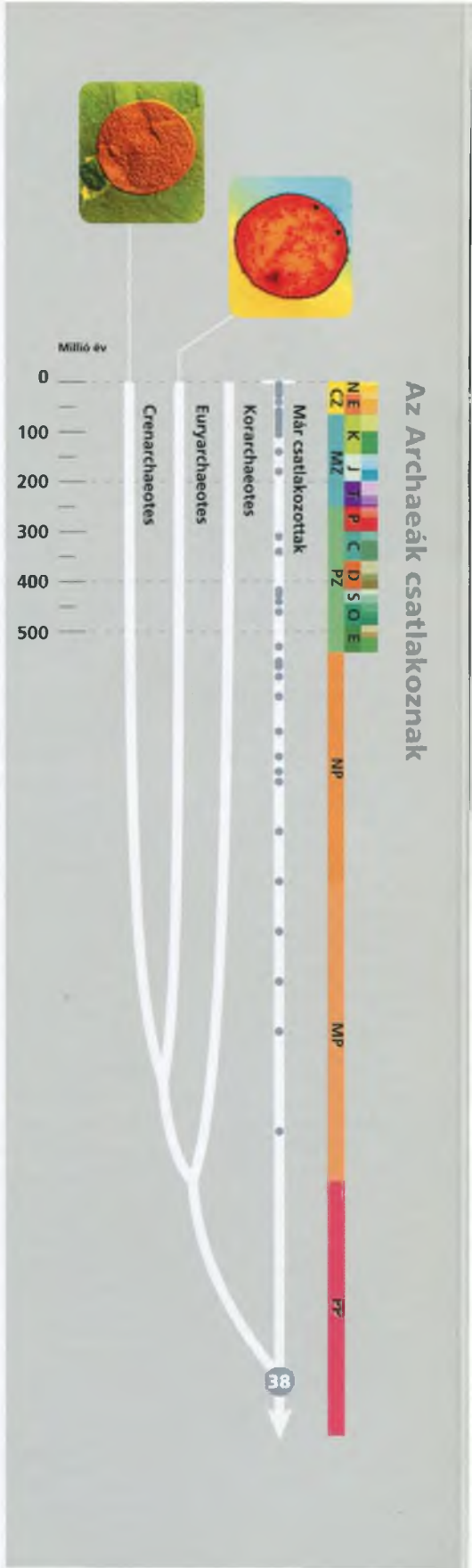
Képek balról jobbra:
Desulfurococcus mobilis; Methanococcoides burtonii

tériumokat és az Archaeát, de az eukariótákat *nem*. A baktérium tehát számára „fokozat" név, míg a Neomura klád. Az a klád, amelybe az eukarióták tartoznak, maga az élet, hiszen ez magában foglalja az archaikusakat és az eukariótákat is.

Cavalier-Smith szerint a Neomura csak 850 millió éve jött létre, amely jóval hozzánk közelebbi idő, mint amire én valaha is gondolni merészeltem. Úgy véli, hogy az Archaeák a termofiliához alkalmazkodás során fejlesztették ki sajátos biokémiai vonásaikat a baktériumokon belül. A termofilia görögül hőkedvelést jelent, ami a gyakorlatban a hőforrásokban való életet jelenti. Szerinte ezek a hőkedvelő baktériumok – a „termofilek" – aztán kettészakadtak. Némelyek hipertermofilekké váltak (valóban igen meleget kedvelőkké), és belőlük alakultak ki a mai Archaeák. Mások elhagyták a hőforrásokat, és hűvösebb körülmények között más prokarióták bekebelezésével és *A* Mixotricha *meséjé*ben hallottak szerinti felhasználásával eukariótákká váltak. Ha igaza van, akkor ismerjük azokat a feltételeket, amelyek közepette a 38. találkozásra sor kerül – a hőforrásokban vagy a tengerfenék vulkanikus felfakadásaiban. Ám természetesen lehet, hogy nincs igaza, és hozzá kell tennünk, hogy nézete messze áll a közmegegyezéstől.

A nagy amerikai mikrobiológus, Carl Woese, az Illinoisi Egyetem munkatársa fedezte fel és határozta meg az Archaeákat az 1970-es évek végén. A többi baktériumoktól való mély különbséget először vitatták, mert annyira ellentmondott a korábbi felfogásnak. Ám mára széles körben elfogadott, így Woese joggal kapott díjakat és érmeket, köztük a nagybecsű Crafoord-díjat és a Leeuwenhoek-érmet.

Az Archaeák közé olyan fajok tartoznak, amelyek különféle szélsőséges körülmények közt tenyésznek, így igen magas hőmérsékleten, vagy nagyon savas, lúgos vagy sós vízben. Az Archaea csoport kitolni látszik az élet tűrőképességének határait. Senki sem tudja, hogy a 38. köz-ős is ily szélsőségkedvelő volt-e, mindenesetre érdekes lehetőség.



39. TALÁLKOZÁS ■ EUBAKTÉRIUMOK

39

SZEMKÖZTI OLDAL
AZ EUBAKTÉRIUMOK CSATLAKOZNAK
Egy gyökértelen fa (lásd *A gibbon meséjét*), amelyen zöld keresztek jelzik a valódi gyökér két feltételezett lehetséges helyzetét. Mindegyik ág csúcsa a mai helyzetet ábrázolja. Az eubaktériumokat hagyományosan a többi életforma testvércsoportjának tekintették, ami megfelel annak, mintha a 39. köz-őstől küldenénk le a gyökeret („A" kereszt). Minthogy azonban nincs kiágazó csoport, szilárd bizonyíték sincs. A másik lehetőség az, hogy a gyökér az eubaktériumokon belül van (pl. a „B" keresztnél), amely viszont több találkozóhelyet jelentene. Az eubaktériumokon belüli filogenetikus kapcsolatok vitatottak. Az itt használatos csoportokat általában elfogadják, ám kapcsolataikat nem. Ez különösen a cianobaktériumokra érvényes.
KÉPEK FELÜLRŐL AZ ÓRAMUTATÓ JÁRÁSA SZERINT: *Escherichia coli* 0111; *Chlamydia*-faj; *Leptospira interrogans*; kloroplasztisz ismeretlen növényből; *Thermus aquaticus*; *Staphylococcus aureus*

Zarándoklatunk kezdetén időgépünk csigatempóban haladt, és tízezer években gondolkodtunk. Aztán feljebb kapcsoltuk a váltót, és amint a kambriumba visszaérve – miközben felszedegettük az állatzarándokokat – felgyorsultunk, képzeletünket már hozzászoktattuk ahhoz, hogy százmillió évekkel birkózzék meg. Ám a kambrium riasztóan közelinek tűnik, hiszen az élet e bolygón megtett pályafutása zömében nem volt más, mint prokarióta élet. Mi, állatok csupán a közelmúlt utógondolata vagyunk. A Canterburybe vezető hazaút utolsó szakaszán időgépünket hipersebességre kell kapcsolnunk, hogy megmentsük e könyvet a tűrhetetlen hosszúságtól. Zarándokaink, akik közé most már az eukarióták és az Archaea csoport is tartozik, már-már illetlennek tetsző sietséggel igyekeznek vissza oda, amit egyetlen utolsó találkozásnak feltételezek – az eubaktériumokkal (Eubacteria) sorra kerülő 39. találkozáshoz. Elképzelhető azonban, hogy nem egy találkozás volt, és az is, hogy némelyik eubaktériumhoz közelebb állunk, mint másokhoz. Az effajta bizonytalanságok miatt rajzoltuk a szemközti fát gyökértelennek.

A baktériumok, mint láttuk, és miként *A Taq meséje* megerősíti, páratlanul sokoldalú vegyészek. Tudtommal a nem emberi élőlények közül ugyancsak ők azok, akik kifejlesztették az emberi civilizáció ikonját, a kereket. Az erről szóló mesét a *Rhizobium* mondja el.

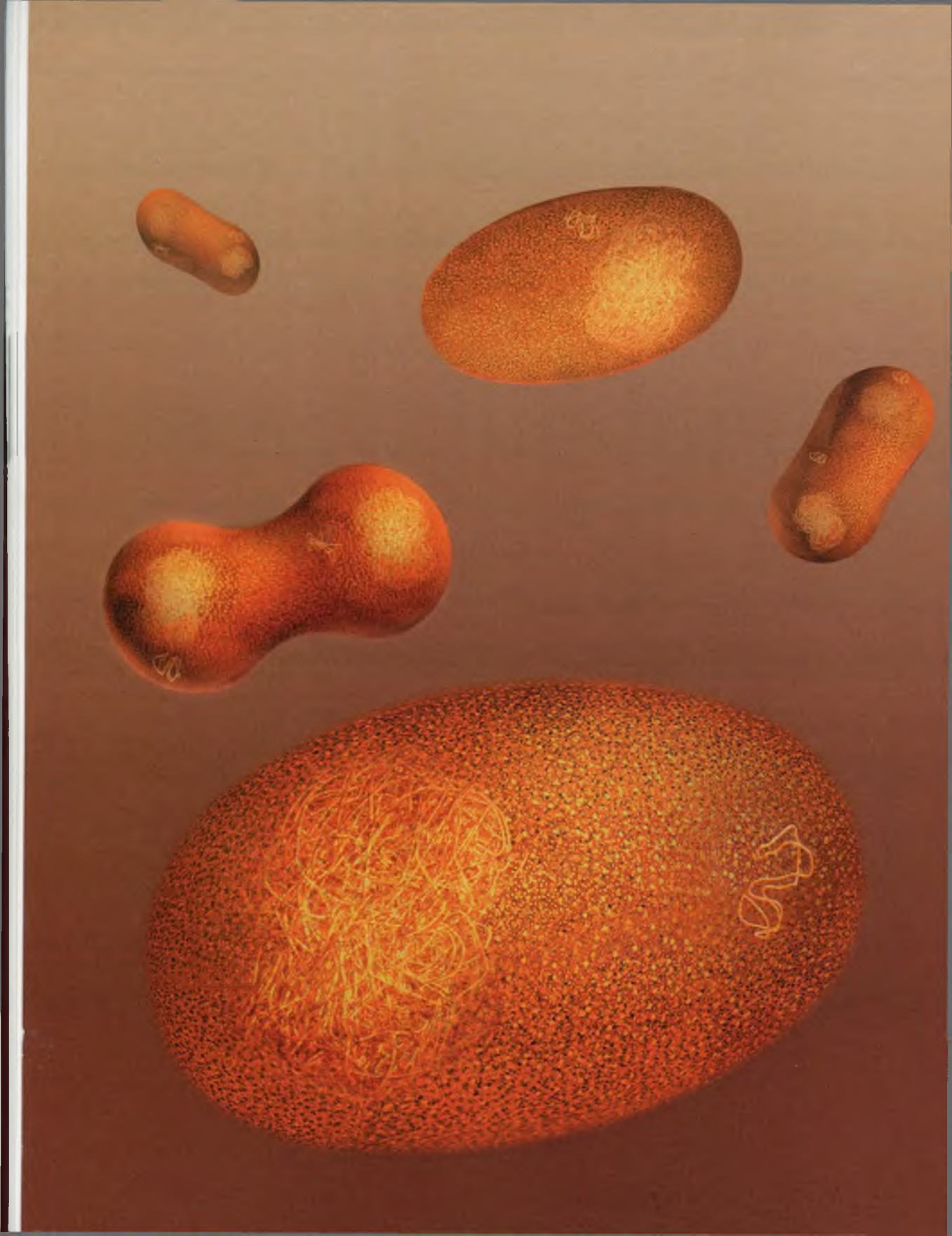
A *RHIZOBIUM* MESÉJE

A kerék közmondásosan emberi találmány. Szedjünk csak szét bármely kezdetlegesnél bonyolultabb gépet, és ráakadunk a kerékre. A hajócsavarok és repülőgép-propellerek, fúrók, esztergák, fazekaskorongok – egész technológiánk kerekeken forog, és nélkülük be is sülne. A kereket valószínűleg Mezopotámiában találták föl a Kr. e. 4. évezredben. Azt tudjuk, hogy eléggé megfoghatatlan volt ahhoz, hogy fel *kelljen* találni, hiszen az újvilági civilizáció még a spanyol hódítás idején sem ismerte. Az állítólagos kivétel – a gyerekjátékok – viszont oly bizarrnak tűnik, hogy gyanút kelt. Nem lehet, hogy azon mítoszok egyikéről van itt szó, amelyek csak azért terjedtek el, mert annyira emlékezetesek – mint az, hogy az inuitok ötven szót ismernek a hóra?

Valahányszor az embereknek valami jó ötletük támad, a zoológusok már szokásszerűen feltételezik, hogy az állatvilágban is megtalálják a megfelelőjét. Ennek példáitól hemzseg e könyv, többek közt idetartozik a visszhangra épülő tájékozódás

Az eubaktériumok csatlakoznak





(denevérek), elektromos helymeghatározás (kacsacsőrű emlős) a gát (hód), homorú tükör (tapadókagylók), infravörös hőérzékelő (némely kígyó), injekciós tű (darazsak, kígyók és skorpiók), szigony (csalánozók) és sugármeghajtás (tintahalak). Hát akkor a kerék miért ne?

A kerék talán csak meglehetősen gyarló lábunkkal összevetve kelt bennünk oly mély benyomást. Üzemanyaggal (fosszilizálódott napenergia) hajtott gépeink előtt az állatok lábai könnyedén lehagytak bennünket. Nem csoda, hogy III. Richárd kínos helyzetében a királyságát ajánlotta föl a négylábú általi szállításért cserébe. Talán a legtöbb állatnak nem hajtana hasznot a kerék, mert nélküle is oly gyorsan futnak a lábaikon. Mindenesetre a legutóbbi időkig összes kerekes járművünket lábmeghajtással vontatták. A kereket nem azért fejlesztettük ki, hogy gyorsabban haladjuk a lónál, hanem, hogy a ló saját sebességével – vagy annál kissé lassabban – tudjon szállítani bennünket.

És itt az a másik lehetőség, amelynél a kerék túlértékelésének kockázata fenyeget bennünket. A kerék maximális hatékonysága egy korábbi találmány – az út (vagy egyéb sima, kemény felület) – maximális hatékonyságától függ. Egy autó erős motorja lehetővé teszi, hogy legyőzzön egy lovat, egy kutyát vagy egy gepárdot a szilárd, egyenletes úton. De rendezzünk versenyt a nyílt mezőn vagy a szántóföldön, ahol netán bozótok és árkok is akadnak, és egyből teljes a vereség: a ló otthagyja a megfeneklett autót.

Nos, talán meg kellene fordítanunk a kérdést. Miért nem fejlesztettek ki utat az állatok? Nincs különösebb technikai akadálya. Az út gyerekjáték a hód gátjához vagy a lugasépítő madarak díszes arénájához képest. Akad néhány kecskedarázs, amely kőeszközt ragadva döngöli keményre a földet. Feltehetően ugyanilyen tudománnyal nagyobb állatok is készíthetnének sima utat.

Ám ez egy nem várt problémát vet föl. Még ha az útépítés műszakilag megoldható is, ugyanakkor veszélyesen *önzetlen* vállalkozás. Ha egy jó utat építek A-ból B-be, esetleg épp annyira válik javára másnak, mint nekem. Miért számítana ez? Azért, mert a darwinizmus önző játék. Olyan út építését, amely másoknak is segíthet, megbünteti a természetes szelekció. Egy vetélytárs egyed épp annyi hasznot húz az útból, mint én, de nem fizeti meg az építés költségeit. Azok az ingyenélők, akik az utamat használják anélkül, hogy vennék a fáradságot a sajátjuk megépítésére, szabadon összpontosíthatnak arra, hogy szaporodásban túlszárnyaljanak engem, míg én az utam rabszolgája vagyok. Hacsak nem kerül sor különleges intézkedések foganatosítására, a lusta, önző kizsákmányolás felé mutató genetikai tendenciák fognak virágozni a szorgos útépítők rovására. A következmény az lesz, hogy nem épül út. Az előrelátás előnyével mi láthatjuk, hogy mindenki a rövidebbet húzza. Ám a természetes kiválasztódás, ellentétben velünk, emberekkel, és ezzel legutóbb kifejlődött agyunkkal, nem rendelkezik előrelátással.

Mi olyan különleges bennünk, emberekben, hogy nekünk sikerült legyőznünk antiszociális hajlamunkat, és olyan utakat építünk, amelyeket mindenki használ? Oh, sok minden. Nincs másik faj, amely akár távolról is közelébe ért volna egy jóléti állapotnak, egy olyan szervezetnek, amely gondoskodik az öregekről, a betegekről és az árvákról, amely ad a jótékonyságra. Látszólag ezek a tények ellentmondanak a darwinizmusnak, de ehelyütt nem mehetünk ebbe bele. Van kormányunk, rendőrségünk, adózásunk, közmunkánk, amelyekhez mind hozzájárulunk, akár tetszik,

39. KÖZ-ŐS
A Földön létező valamennyi élet köz-őse. Prokariótaként nem rendelkezik külön sejtmaggal, és a DNS nagy része egyetlen nagy, szoros gombolyagot alkot a sejten belül, ám emellett plazmidoknak nevezett, különálló kis DNS-darabkák is láthatók. A sejt többi része tele van parányi riboszómákkal, amelyek a DNS-ből az RNS révén a fehérjékre átvitt genetikai szekvenciák futtatásával foglalkoznak.

akár nem. Azt, aki azt írná, „Uram, Ön nagyon kedves, de én inkább nem csatlakoznék az Önök jövedelemadó-rendszeréhez", az adóhatóság egész biztosan elutasítaná. Sajnos egyetlen másik faj sem találta fel az adót. Feltalálták viszont a (virtuális) kerítést. Valamely egyed akkor biztosíthatja saját hozzáférését az erőforrásokhoz, ha azokat hatékonyan megvédi a vetélytársaktól.

Számos állatfaj territoriális, nem csupán a madarak és az emlősök, de a halak és a rovarok is. Védelmeznek egy területet a saját fajukhoz tartozó vetélytársaktól, gyakran annyira, hogy elkülönítenek egy saját táplálkozóterületet, udvarlólugast vagy fészkelőhelyet. Egy nagy territóriummal rendelkező állatnak esetleg előnyére válna, ha jó, egyenletes úthálózatot építene a vetélytársaktól elzárt területen. Ez nem lehetetlen, de az ilyen állati utak túl helyhez kötöttek lennének a hosszú távú, nagy sebességű utazáshoz. Némileg is jó minőségű utak csak arra a kis területre korlátozódnának, amelyet valamely egyed meg tud védeni genetikai riválisaitól. Nem túl biztató kezdet a kerék evolúciójához.

Ám most végre elérkeztünk e mese mesélőjéhez. Tézisem alól akad egy árulkodó kivétel. Néhány apró élőlény kialakította a kereket, a szó legteljesebb értelmében véve. Tekintve, hogy az élet első 2 milliárd évében semmi másból nem állt, mint baktériumokból, talán a kerék lehetett az elsőként kialakult helyváltoztató készülék. Sok baktérium, amelyek közül a *Rhizobium* tipikus faj, cérnaszerű, spirális propellerekkel úszik, amelyek mindegyikét saját folyamatosan forgó tengelye hajtja meg. Régebben úgy vélték, hogy ezek az „ostorok" úgy mozognak, mint a farok, a spirális forgás látszata pedig abból adódik, hogy olyan hullámmozgás húzódik végig az ostoron, mint a tekergő kígyón. Az igazság ennél jóval figyelemre méltóbb. A bakteriális ostor* egy olyan tengelyhez illeszkedik, amely szabadon és megállás nélkül forog egy, a sejtfalon áthatoló lyukban. Valódi tengely és szabadon forgó kerékagy ez, amit egy apró, az izom biofizikai elveire épülő molekuláris motor hajt meg. Ám az izom váltakozó motor, amelynek az összehúzódás után újra ki kell nyúlnia, hogy felkészüljön az újabb erőhatásra. A baktériumos motor folyamatosan egy irányba jár: akár egy molekuláris turbina.

* A bakteriális ostor szerkezete teljesen eltér az eukarióta (vagy protozoa) flagellumétól vagy „undulipodiumtól", amellyel *A* Mixotricha *meséjében* találkoztunk. Az eukarióták 9+2 mikrocsöves megoldásától eltérően a bakteriális ostor egy fehérjeflagellinből álló lyukas cső.



Egy apró, molekuláris motor által meghajtott valódi tengely és kerékagy

Az a tény, hogy csak igen kis lények fejlesztették ki a kereket, megmutatja, mi lehet a legkézenfekvőbb oka annak, hogy a nagyobbak miért nem. Elég világi, gyakorlati, de nem kevésbé fontos oka van. Egy nagy élőlénynek olyan nagy kerekekre lenne szüksége, amelyeknek *in situ* kellene kinőniük, és nem lehetne őket holt anyagból, külön megformázni, majd felszerelni. Ahhoz, hogy egy nagy, élő szerv *in situ* nőjön, vérre vagy valami annak megfelelőre, és talán valami idegszerűségre is szüksége van. Egy szabadon forgó szerv véredényekkel (nem is beszélve az idegekről) történő ellátásának problémája, anélkül hogy összegabalyodnának, túl szemléletes ahhoz, hogy szükséges legyen részletezni. Akadna megoldás, de nem lehetünk meglepődve, hogy nem találtak rá.

Az emberi mérnökök azt javasolnák, hogy a tengely közepén futó koncentrikus csöveken kell a vért bevezetni a kerékbe. De hogyan festett volna ennek evolúciós átmeneti formája? Az evolúciós javítások olyanok, mint egy hegy megmászása. Nem ugorhatunk a szikla lábától egyből fel a csúcsra. A mérnökök számára van lehetőség a hirtelen, meredek váltásra, de a természetben az evolúciós hegy csúcsa a kiindulóponttól csak fokozatosan emelkedő lejtőn érhető el. A kerék alighanem azon esetek közé tartozik, amelynek mérnöki megoldása egyértelműen látható, az evolúció számára mégis elérhetetlen, mivel egy mély völgy túloldalán fekszik: kifejleszthetetlen a nagy állatok számára, de kis méretük miatt elérhető a baktériumok számára.

Az asszociatív gondolkodás képzetdús példájaként Philip Pullman a *His Dark Materials* (Az ő sötét anyagai) című gyermekregényében egy teljesen váratlan, de nagyon is biológiai megoldást talál a nagy állatok problémájára. Kitalál egy nagy testű, jóindulatú állatfajt, a mulefát, amely szimbiózisban él egy kemény, kör alakú, kerékszerű magházakat hullató óriás fával. A mulefa lábain fényes szarusarkantyúk vannak, amelyek beleillenek a magház közepén levő lyukba, amelyek így kerékként működnek. A fa hasznot húz a megoldásból, mert valahányszor egy kerék elhasználódik – aminek végül be kell következnie –, és eldobódik, a mulefa szétszórja a benne lévő magvakat. A fa azzal viszonozza a szívességet, hogy teljesen kör alakúvá fejlesztette a magházakat, a mulefa tengelyéhez való megfelelő lyukkal a közepén, amelybe a mulefa magas fokozatú kenőanyagot választ ki. A mulefa négy lába gyémánt alakzatban helyezkedik el. A középvonalon lévő első és a hátsó lábak illeszkednek a kerekekre, míg a test közepénél oldalra kiálló lábakon nincs kerék, az állat ezekkel lökdösi magát előre, mintha egy régifajta, pedál nélküli csonttörő kerékpárt hajtana. Pullman okosan megjegyzi, hogy ezt a rendszert csak e lények világának geológiai sajátossága teszi lehetővé. Történetesen a bazalt hosszú, szalagszerű csíkokat alkot a szavannán, amely nem épített, de szilárd burkolatú útként szolgál.

Pullman ötletes szimbiózisától eltekintve feltételesen elfogadhatjuk, hogy a kerék azon találmányok közé tartozik, amelyek bármilyen jó ötletnek tűnnek is első látásra, akár az út iránti előzetes igény, akár a véredények összetekeredésének megoldhatatlansága, akár amiatt, hogy a végső megoldás felé mutató átmeneti formák semmire sem lennének jók, mégsem fejlődhetnek ki a nagy állatokban. A baktériumok azért voltak képesek kifejleszteni a kereket, mert a nagyon kicsi világ oly gyökeresen különbözik, és oly eltérő műszaki problémákat vet fel.

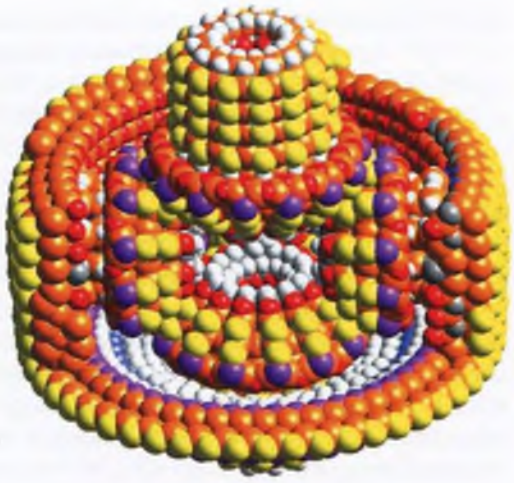
Maga a bakteriális motor újabban a magát „Intelligens Tervezés Teoretikusai"-nak nevező teremtéshívő fajzat kezében az állítólagos kifejlődhetetlenség ikonjának státusába emelkedett. Mivel láthatólag létezik, eltérő végkövetkeztetésre jutnak.

Míg én a kifejleszthetetlenséget annak magyarázatául hoztam föl, hogy miért nem növesztenek az olyan nagy állatok, mint az emlősök kerekeket, addig a teremtéshívők úgy ragadták meg a bakteriális ostoros kereket, mint ami nem létezhet, ám mégis létezik – tehát természetfölötti módon kellett létrejönnie.

Ez az az ősi érv, amit „a tervből fakadó érvnek", vagy „Paley órásmesteréből fakadó érvnek", vagy „a nem egyszerűsíthető bonyolultságból fakadó érvnek" neveznek. Jómagam kevésbé jóindulatúan „a személyes hitetlenségből fakadó érvnek" mondtam, mivel mindig a következő formát ölti: „Én személyesen nem tudom elképzelni az események olyan sorozatát, amely révén X létrejöhetett. Ezért tehát természetfölötti módon kellet létrejönnie." A tudósok erre újra és újra azzal vágtak vissza, hogy ha valaki ezzel az érvvel áll elő, azzal nem annyira a természetről, hanem képzeletvilágának szegénységéről mond valamit. A „személyes hiszékenységből fakadó érv" oda vezethet, hogy valahányszor látunk egy jó bűvészt, akinek a trükkjeit nem tudjuk megmagyarázni, minduntalan a természetfelettit rángatjuk elő.

Teljesen jogos a nem egyszerűsíthető bonyolultságból fakadó érvet felhozni valami nem létező hiányának lehetséges magyarázataként, miként én is tettem a kerekes emlősök hiányával kapcsolatban. Viszont teljesen más lapra tartozik, ha ezzel hárítjuk el a tudós felelősségét, hogy megmagyarázzon valami *nagyon is* létezőt, mint amilyen például a kerekes baktérium. Mindazonáltal, az igazság kedvéért, a tervből vagy a nem egyszerűsíthető bonyolultságból fakadó érv valamely változatának érvényes alkalmazása azért elképzelhető. A világűrből a jövőben érkező látogatók, akik nekifognak bolygónk régészeti feltárásához, biztosan megtalálják a módját annak, hogy megkülönböztessék a tervezett gépeket – pl. a repülőgépeket vagy a mikrofonokat – az olyan kialakult gépektől, mint a denevér szárnyai vagy fülei. Érdekes gondolatkísérlet, ha elgondoljuk, hogyan különböztetik meg a kettőt. Talán tesznek majd néhány trükkös megállapítást a természetes evolúció és az emberi tervezés közti zavaros átfedésekről. Ha az idegen tudósok élő példányokat is tanulmányozhatnak, és nem csak régészeti leleteket, vajon mihez kezdenek a törékeny, ideges versenylovakkal és agarakkal, a szuszogó buldogokkal, akik meg sem születhetnének császármetszés nélkül, vagy a vaksi pekingi kisbabapótlékokkal, az olyan járkáló tőgyökkel, mint a fríz marhák, a landrace disznókhoz hasonló járkáló szalonnacsíkokkal, vagy az olyan járkáló kardigánokkal, mint a merinói juh? A molekuláris gépek – a nanotechnológia – amiket a bakteriális ostoros motor méretében szerkesztettek az ember hasznára, talán még fogósabb problémák elé állítanák az idegen tudósokat.

Nem kisebb személyiség, mint Francis Crick elmélkedett félig komolyan a *Life Itself* (Az élet miléntje) című művében arról, hogy a baktériumok esetleg nem is erről a bolygóról származnak, hanem máshonnét plántálódtak át ide. Crick elképzelése szerint az idegenek egy rakétaorrban küldték ide őket, mert el akarták terjeszteni saját életformájukat, de korlátok közé zárta őket önmaguk elszállításának műszaki problémája, ezért inkább a természetes evolúcióra bízták a munka befejezését, miután a bakteriális fertőzés már gyökeret eresztett. Crick és munkatársa, Leslie Orgel, akivel együtt felvetették az ötletet, feltételezték, hogy a baktériumok természetes folyamat eredményeként az anyabolygón alakultak ki, de ha már egyszer a tudományos fantasztikus kedvükbe kerültek, maguk is hozzáadhattak egy adag nanotechnológiai fogást a keverékhez, mondjuk a szemközti illusztráció molekuláris fogaskerekéhez hasonló szerkezet, vagy a *Rhizobium* és sok más baktérium esetében látható ostoros motor formájában.



Az ember használára készült molekuláris gépek
Egy molekuláris sebességváltó futurisztikus rajza

Maga Crick – nem tudni, hogy sajnálatára vagy megkönnyebbülésére – kevés használható bizonyítékát látja saját irányított pánspermia elméletének. Ám a tudomány és a tudományos fantasztikum közti hátország hasznos szellemi sportcsarnok, amelyben meg lehet küzdeni a valóban lényeges kérdésekkel. Tekintve, hogy a darwini természetes kiválasztódás által megidézett tervezés illúziója oly lélegzetelállítóan erőteljes, a gyakorlatban hogyan különböztessük meg termékeit a szándékosan tervezett termékektől? Egy másik nagy molekuláris biológus, Charles Monod hasonló eszmefuttatással kezdi a *Chance and Necessity* (Véletlen és szükségszerűség) című könyvét. Vajon léteznek-e a természetben egyértelműen meggyőző példák a nem egyszerűsíthető bonyolultságra: olyan sok alkotórészből álló, összetett szervezetekre, amelyek egészére végzetes következményekkel járna valamely részük elvesztése? Ha igen, vajon utalhat-e ez arra, hogy az eredeti terv egy felsőbbrendű intelligenciától, mondjuk egy másik bolygó jóval magasabban fejlett civilizációjától származik?

Elképzelhető, hogy végül felfedezik ennek valamely példáját. Ám a bakteriális ostoros motor szerencsére nem ezek közé tartozik. Mint a tovább nem egyszerűsíthető bonyolultság oly sok korábbi állításáról, a szemmel kezdve a sort, a bakteriális ostorról is kiderül, hogy kiválóan egyszerűsíthető. A Brown Egyetem kutatója, Kenneth Miller taglalja az egész kérdést a világos érvelés valóságos erőmutatványában. Miként Miller kimutatja, az az állítás, miszerint az ostoros motor alkatrészeinek nincs más szerepe, egyszerűen hamis. Itt van például az a tény, hogy számos parazita baktérium rendelkezik a TTSS („harmadik típusú kiválasztó apparátus") nevű eljárással, melynek révén vegyületeket fecskendez a gazdasejtekbe. A TTSS ugyanazon fehérjekészletet alkalmazza, mint az ostoros motor. Ebben az esetben viszont nem egy kör alakú kerékagy forgómozgását biztosítják, hanem kör alakú lyukat fúrnak a gazdasejt falába. Miller így összegzi a kérdést:

> Nyíltan fogalmazva, a TTSS a piszkos munkát a flagellum alapjából nyert maroknyi fehérje felhasználásával végzi el. Evolúciós szemszögből ez a viszony aligha meglepő. Valójában várható, hogy az evolúciós folyamat opportunizmusa úgy keveri és párosítja a fehérjéket, hogy új és újító funkciókat kapjon. A nem egyszerűsíthető bonyolultság tana szerint azonban ennek nem szabadna megtörténnie. Ha a flagellum valóban nem egyszerűsíthető összetétel, akkor már egyetlen részének elvétele, nem is beszélve tízről vagy tizenötről, „a dolog lényegéből adódóan működésképtelenné" kellene hogy tegye a maradékot. A TTSS azonban valójában mégis teljesen működőképes, jóllehet a flagellum legtöbb része hiányzik belőle. Lehet, hogy számukra a TTSS nem jelent jót, de a TTSS-sel rendelkező baktérium számra valóban értékes biokémiai gépezet.

A TTSS jelenléte számos baktériumfajtában igazolja, hogy a „nem egyszerűsíthető összetételű" flagellum egy kis része valójában továbbra is fontos biológiai szerepkört tölthet be. Mivel az ilyen funkciót a természetes szelekció egyértelműen előnyben részesíti, az az állítás, miszerint a flagellumnak teljesen késznek kell lennie, mielőtt még bármely alkotórésze hasznos lehetne, nyilvánvalóan helytelen. Ez pedig nem jelent mást, mint hogy a flagellum értelmes megtervezésének érve megdőlt.

Miller méltatlankodása az „értelmes terv elmélete" ellen érdekes forrásból kap ösztönzést: mély vallásos meggyőződéséből, amelyet bővebben kifejt a *Finding Darwin's God* (Darwin istenének megtalálása) című könyvében. Miller istene (ha nem is Darwiné) a természetnek törvények általi mélységes áthatottságában nyilatkozik meg – vagy talán szinonim vele. A teremtéshívő törekvése, hogy Istent a személyes hitetlenségből fakadó érv negatív útján igazolja, kiderül, amint Miller rámutat, amikor feltételezi, hogy Isten szeszélyesen *megszegi* saját törvényeit. Márpedig ez a megfontoltan vallásos meggyőződésűek számára, mint amilyen Miller is, olcsó és lealacsonyító szentségtörés.

Nem vallásos emberként saját együtt érző párhuzamommal támaszthatom alá Miller érvelését. Ha nem is szentségtörő, a személyes hitetlenségből fakadó érv értelmes tervre építő stílusa legalábbis *lusta*. Egy elképzelt párbeszédben élcelődtem ezen, amely a Royal Society két egykori elnöke, Sir Andrew Huxley és Sir Alan Hodgkin között játszódna le, akik megosztott Nobel-díjat kaptak az idegi impulzus molekuláris biofizikájának kidolgozásáért.

– Mondom, Huxley, ez egy iszonyú nehéz probléma. Nem értem, hogyan működik az idegi impulzus. Te érted?

– Nem, Hodgkin, nem értem, és ezeket a differenciálegyenleteket pokoli nehéz megoldani. Miért nem adjuk fel, és mondjuk azt, hogy az idegi impulzus idegi energiával terjed?

– Nagyszerű ötlet, Huxley! Máris írjunk egy levelet a *Nature*-nek: elég lesz egy sor, aztán nekiállhatunk valami könnyebbnek.

Andrew Huxley bátyja, Julian hasonlóra célzott, amikor hosszú idővel ezelőtt a vitalizmuson élcelődött, amit általában Henri Bergson nevével és az *élan vital*lal kötöttek össze akkoriban, mondván, hogy olyan ez, mintha a mozdony működését *élan locomotif** meghajtással magyaráznánk. A lustaságot és Miller szentségtörését illető bírálatom nem vonatkozik az irányított pánspermia elméletére. Crick emberen kívüli és nem emberfölötti tervről beszélt. A különbség nagyon is számít. Crick világnézetében a baktériumok vagy azon eszközök nem emberi tervezői, amelyekkel széthintették a Földön őket, eredetileg maguk is a darwini szelekció valamiféle helyi megfelelője alapján fejlődtek ki a saját bolygójukon. Lényeges, hogy Crick mindig azt kereste, amit Daniel Dennett „darunak" nevez, és soha nem folyamodna – mint Henri Bergson – afféle „égi fogantyúhoz".

* Csüggesztő arra gondolni, hogy Henri Bergson – egy vitalista – áll legközelebb egy tudóshoz az irodalmi Nobel-díjasok százas listáján. A legközelebbi vetélytárs Bertrand Russell, de ő humanitárius írásaiért kapta a díjat.

A legfőbb ellenvetés a nem egyszerűsíthető bonyolultság érvével szemben annak igazolásával ér föl, hogy az állítólagosan egyszerűsíthetetlen összetett entitások, az ostoros motor, a véralvadási folyamat, a Krebs-ciklus vagy bármi más legyen is, valójában egyszerűsíthetők. A személyes hitetlenség egyszerűen tévedett. Ehhez figyelmeztetésül hozzátesszük, hogy *még* ha nem is tudjuk elképzelni azt a lépésről lépésre haladó utat, melynek révén a bonyolultság kialakulhatott, a türelmetlen

csúsztatás, vagyis annak feltételezése, hogy eszerint tehát a dolog természetfölötti, ízléstől függően vagy szentségtörés, vagy lustaság.

Van azonban még egy ellenvetés, amiről meg kell emlékeznünk, nevezetesen Graham Cairns-Smith „boltív és állványzat" példázata. Cairns-Smith más összefüggésben ír erről, de mondandója itt is megállja a helyét. Valamely boltív egyszerűsíthetetlen abban az értelemben, hogy ha eltávolítunk belőle egy részt, az egész összeomlik. Állványzat segítségével azonban mégis meg lehet építeni. Az állványzat későbbi eltávolítása, hogy többé ne jelenjék meg a látható képben, nem jogosít fel bennünket ara, hogy misztifikált és obskúrus módon természetfölötti erőt tulajdonítsunk a kőműveseknek.

Az ostoros motor gyakori a baktériumok körében. Azért jutott a *Rhizobium*ra a mesélés sora, mert másodsorban a baktériumok sokoldalúságára is jó példa. A földművesek nagyon jó okkal vetik a borsófélék családjába tartozó hüvelyeseket a legjobb vetésforgó egyik elemeként. A hüvelyeseknek nem kell a talajból felszívniuk a nitrogénvegyületeket, képesek közvetlenül a levegő nyers nitrogénjét hasznosítani (amely messze a legbőségesebben előforduló gáz a légkörben). Ám a légköri nitrogént nem maguk a növények kötik meg és alakítják át hasznosítható vegyületekké, hanem egy szimbionta baktérium – nevezetesen a *Rhizobium* –, amit erre a célra a növények gyökerein lévő különleges gumók fogadnak be a nem szándékos törődés minden jele mellett.

Az állatok és növények körében igen gyakori megoldás az eredeti vegyészeti trükkök kiadása ilyen alvállalkozói szerződéssel a kémiailag jóval sokoldalúbb baktériumoknak. Ez *A Taq meséjé*nek fő üzenete.

A Taq meséje *(társszerző: Yan Wong)*

Most, hogy elértünk a legősibb találkozásunkhoz, és az egész általunk ismert életet a zarándoklatunkba gyűjtöttük, olyan helyzetben vagyunk, hogy áttekinthetjük változatosságát. A legmélyebb szinten az élet változatossága kémiai. A zarándoktársaink által felhalmozott szakmák egy sor jártasságot ölelnek föl a kémia művészete terén. És, miként láttuk, a baktériumok, köztük az Archaea is, árulkodnak a legteljesebb körű kémiai hozzáértésről. A baktériumok együttesen e bolygó mestervegyészei. Még a mi sejtjeink vegykonyhája is nagyrészt bakteriális vendégmunkásoktól kölcsönöz, és mindez csak töredéke mindannak, amire a baktériumok képesek. Kémiailag jobban hasonlítunk némelyik baktériumra, mint némely baktérium más baktériumokra. Ha a baktériumok kivételével eltörölnénk az összes többi életet, akkor legalábbis vegyész szemmel még mindig megmaradna az élet változatossági skálájának nagyobbik része.

Az a baktérium, amit a mesemondásra kiszemeltem, a *Thermus aquaticus*, a molekuláris biológusok által becézett formájában: Taq. Az egyes baktériumok különböző egyedi oknál fogva tűnnek idegennek számunkra. A *Thermus aquaticus*, mint neve is sejteti, a meleg vízben szeret tartózkodni. A *nagyon* meleg vízben. Ahogy a 38. találkozáson láttuk, sok Archaea melegkedvelő (termofil) és forróságkedvelő (hipertermofil), de nem monopolizálták ezt az életmódot. A termofil és hiperter-

mofil szavak nem taxonómiai kategóriát takarnak, de az olyan szakmáknál vagy hivatásoknál azért többek, mint Chaucer írnoka, molnárja vagy orvosa. Olyan helyeken élnek, ahol senki más nem képes megélni: A Rotorua és a Yellowstone Park zubogó hőforrásaiban vagy az óceánközépi hátságok vulkanikus kürtőiben. A *Thermus* egy eubakteriális hipertermofil. Nem okoz neki nagy nehézséget, hogy fennmaradjon a csaknem forrásban lévő vízben – bár jobban kedveli az enyhébb, 70 °C körüli hőfokot. Nem ez tartja a hőmérsékleti világcsúcsot – akadnak olyan mélytengeri archaikusak, amelyek 115 °C-ig, jóval a víz normál forráspontja* fölött is megélnek.

* Ha megint meglepő lenne, hogy víz található ennyivel normál forráspontja fölött, jusson eszünkbe, hogy a víz forráspontja is magasabb magas nyomáson.

A *Thermus* molekuláris biológus körökben arról híres, hogy belőle nyerik a Taq polimeráz néven ismert DNS-másoló enzimet. Természetesen minden szervezetben vannak DNS-másoló enzimek, de a *Thermus*nak olyat kellett kifejlesztenie, amely állja a forrásponthoz közeli hőmérsékleteket. Ez azért hasznos a molekuláris biológusoknak, mert a DNS másolásra való felkészítésének legkönnyebb módja, ha felforraljuk, és szétválasztjuk két alkotó füzérére. A DNS-t és a Taq polimerázt egyaránt tartalmazó oldat ismételt forralása és lehűtése az eredeti DNS legkisebb mennyiségeit is lemásolja vagy „felnagyítja". A ragyogóan elmés módszert „polimeráz láncreakciónak" – rövidítve PCR-nek – nevezik.

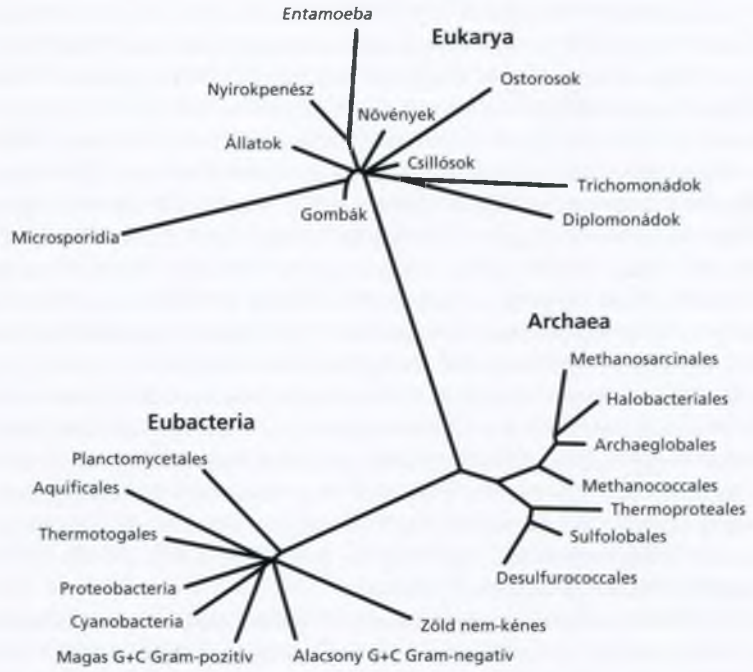
A Taq laboratóriumi varázslóként kivívott hírneve elég igazolás arra, hogy ő mondhatja a mesét. Ám éppenséggel más oka is lehet annak, hogy a *Thermus* különösen jó helyen van ahhoz, hogy a baktériumok tanulságosan idegen perspektíváját érzékeltesse. A *Thermus* ugyanis a baktériumok Hadobacteria nevű kis csoportjába tartozik. A 39. találkozáson említett taxonómiai besorolása kapcsán Tom Cavalier-Smith felveti, hogy a hadobaktériumoké unokatestvéreikkel, a zöld nem-kénbaktériumokéval együtt a legkorábban leágazó baktériumcsoport lehet. Ha ez igaz, akkor ők a többi élet lehető legtávolabbi unokatestvérei.

E nézet szerint a *Thermus* és rokonai kilógnak a sorból. A *Thermus* kivételével az összes többi baktériumnak van egy egymással és az élet többi részével közös ősük. Ha beigazolódik, ez a következőt jelenti. Éppúgy, ahogy bármely baktérium összevonhatná az „élet többi részét" az élet családjának egyetlen „kadét osztagába", ugyanígy a *Thermus* összevonhatná a „többi baktériumot" a baktériumok egyetlen ágába. Felforraltatása iránti hajlama mellett emiatt esett a választásom a *Thermus*ra, hogy mondja el az élet változatosságáról szóló mesét. Bár a *Thermus* különleges helyzetére vonatkozó bizonyítékok nem kifejezetten biztosak, nem kétséges, hogy az alapvető kémiai szinten az élet változatosságának túlnyomó többsége mikrobás, és ennek jelentős többsége bakteriális. Az élet változatosságának meséjét tehát, amennyiben az leginkább kémiai változatosság, joggal mondja el egy baktérium, és ez akár lehet egy Taq is.

Hagyományosan és érthető oknál fogva a mesét a nagy állatok szemszögéből – a miénkből – mondták el. Az élővilágot állatok és növények országára osztották, és a különbség viszonylag világosnak tűnt. A gombák növényeknek számítottak, mivel a számunkra ismertebbek egy helyen gyökereztek, és tanulmányozásuk közben nem sétáltak odébb. A tizenkilencedik századig nem is tudtunk a baktériumokról, és amikor erős mikroszkópokon keresztül először megpillantották őket, nem tudták, mit is kezdjenek velük a dolgok rendjében. Némelyek miniatűr növényeknek, mások miniatűr állatoknak vélték őket. Ismét mások a fénybefogó baktériumokat a növények-

hez sorolták (mint „kék-zöld moszatokat") a többieket az állatokhoz. Nagyjából ugyanez történt a „protistákkal" – azokkal az eukariótákkal, amelyek nem baktériumok, és sokkal nagyobbak, mint a baktériumok. A zöldeket elnevezték Protophytának, a többit Protozoának. A protozoa jól ismert példája az *Amoeba*, amire egykor az összes élet ősatyja közeli rokonaként gondoltak, és mekkorát tévedtünk, hisz egy *Amoeba* a baktériumok „szemével" nézve alig különbözik az embertől.

Mindez akkoriban történt, amikor az élőlényeket látható anatómiájuk alapján osztályozták, ami alapján a baktériumok jóval kevésbé változatosak, mint az állatok vagy a növények, így megbocsátható, hogy primitív állatként vagy növényként írták le őket. Teljesen más lapot nyitottunk, amikor a lényeket a molekuláik által biztosított jóval gazdagabb információk alapján kezdtük el besorolni, és amikor megvizsgáltuk a mikrobák által tökélyre juttatott vegyészeti „szakmák" sokaságát. Íme, a dolgok ma megközelítőleg a következőképp festenek:



Az élet legmélyebb választóvonalai
A legújabb molekuláris kutatásokra alapuló, három fő tartományra tagolódó életfa. Gribaldo és Philippe [113] nyomán.

Ha az állatokat és a növényeket egy-egy országként kezeljük, akkor ugyanilyen alapon egy tucatnyi mikroba „ország" is van, amelyek sajátosságai ugyanarra a státusra jogosítják föl őket, mint az állatokat és a növényeket. Az ábra a jéghegy csúcsát mutatja. Nemcsak hogy kimaradt néhány mélyen gyökerező ágazat, de csak azokat tüntettük föl, amelyek elérhető helyeken élnek, és laboratóriumban kitenyészthetők. Egyetlen „merítés" új DNS-helyszíneken, nem törődve azzal, hogy a zsákmány melyik organizmusból származik, teljesen új mikrobás országokat tárhat föl.* Állatok, növények és gombák csupán három kis ág az élet fáján. Ezeket az ismertebb országokat az különbözteti meg a többitől, hogy az idetartozó szervezetek nagyok, mivel sok sejtből állnak. A többi ország csaknem kizárólag mikrobás. Akkor hát miért nem egyesítjük őket egyetlen

* Az örökké lelkes Craig Venter és csapata legalább 1800 új mikrobafajt tárt fel a Sargasso-tengerben lebegő DNS villámelemzésével.

mikrobás országba, amely egyenrangú a három nagy többsejtű országgal? Ennek egyik, de nyomós oka az, hogy biokémiai szinten sok mikrobás ország épp annyira különbözik egymástól és a három nagytól, mint a három ismertebb ország egymástól.

Nem lenne értelme arról vitatkozni, hogy „valóban" mondjuk 20 ország van a különbségek eme skáláján, netán 25 vagy 100. A diagramból kiviláglik, hogy ezek három fő országcsoportba – „tartományba" tartoznak, hogy Carl Woese kifejezésével éljek, akiről az élet eme új szemléletének kezdeményezőjeként már megemlékeztünk. A három tartomány közül az első a sajátunk, az eukariótáké, amiknek társaságában utunk java részét megtettük. A második az Archaea – a 38. találkozáson megismert mikrobáké –, amiket az élet régi szemlélete szerint a harmadik tartományba lehetne sorolni, a valódi (vagy eu-) baktériumok közé. E harmadik, eubakteriális tartomány tagjai csatlakoztak hozzánk utunk utolsó szakaszán. Kiváltságnak számít, hogy az utolsó lépéseket a valaha létezett legegyetemesebben előforduló és leghatékonyabb DNS-szaporítókkal tehetjük meg.

A csillagdiagram természetesen nem olyan vonásokra épül, amelyeket láthatunk és érinthetünk. Ha különböző szervezeteket kívánunk összehasonlítani, olyan tulajdonságokat kell választanunk, amelyek nagyjából mindegyiküknél megtalálhatók. Nem hasonlíthatjuk össze a lábakat, ha a legtöbb fajnak nincsenek lábai. A lábak, fejek, levelek, kulcscsontok, gyökerek, szívek, mitokondriumok – mind olyan vonások, amelyekkel csak az élőlények valamely alcsoportja rendelkezik. A DNS azonban egyetemes, és van egy maroknyi olyan gén, amelyek – néhány kisebb, megszámlálható eltérés kivételével – valamennyi élőlényben közösek. Ezeket kell a nagy léptékű összehasonlításhoz felhasználnunk. Talán a legjobb példát a riboszómák készítéséhez való kódok nyújtják.

A riboszómák olyan sejtgépek, amelyek leolvassák az RNS-üzeneteket (amelyek maguk is DNS-gének átiratai), és kikeverik a fehérjéket. A riboszómák nélkülözhetetlenek valamennyi sejt számára, és egyetemesen előfordulnak. Jórészt maguk is RNS-ből állnak – így rRNS-nek nevezzük őket, és teljesen különböznek azoktól az RNS-üzenet „szalagoktól", amelyeket a riboszómák leolvasnak, és átfordítnak fehérjévé. Eredetileg magát az rRNS-t is a DNS-gének határozzák meg. Az rRNS sorozatot le lehet olvasni közvetlenül, vagy közvetve, az őt kódoló DNS-génekből, az rDNS-ből. Bármi is a módszer, én rDNS-nek fogom nevezni. Az rDNS különösen hasznos két élőlény egymással, vagy bármely másik élőlénnyel való közvetlen összehasonlításhoz, mert mindegyikben jelen van.

Az rDNS-t azonban nem csupán mindenütt jelenvalósága miatt alkalmazzák. Épp olyan lényeges, hogy éppen a megfelelő mennyiségű genetikai variációt mutatja – vagyis kellően hasonlít minden élő fajban ahhoz, hogy legyen mit összevetni, de mégsem hasonlít annyira, hogy ne legyen megszámolható eltérés. *A gibbon meséjében* megismert módszerek használatával kiaknázhatjuk az rDNS-t arra, hogy összeillesszük az egész életfát, és megkapjuk a hatalmas evolúciós különbségeket a fő tartományokon belül, sőt között is. Ám gondosan kell eljárnunk, mivel az rDNS teljesen sebezhető a „hosszúág-vonzás" és hasonló csapdák által. Viszont más gének segítségével és a ritka genomváltozások – azaz nagy DNS-darabok beiktatódása és kitörlődése – figyelembevételével próbaképpen felrajzolható egy fa. Ez látható a 461. oldalon. Természetesen e kísérleti fa néhány ága bizonytalan, különösen az eubaktériumok között, ami talán azon hajlamukat tükrözi, hogy egymás közt kicseréljék DNS-szekvenciáikat – olyan probléma ez, amilyennel az eukarióták közt nem találkoztunk. A kutatók azonban

megtalálták a baktériumgének egy olyan magcsoportját, amelyek ritkán cserélődnek, így vélhetően egy szép nap megegyezhetünk az életfán belüli elágazások megtámadhatatlan sorrendjében. Már alig várom ezt a napot.

A genomok összehasonlításával kapott taxonómiai különbség a változatosság tanulmányozásának egyik módja. Egy másik, ha megnézzük az életmódok sokféleségét, a zarándokok által űzött „szakmák" sorozatát. Első pillantásra a különböző baktériumok e tekintetben hasonlóbbnak tűnhetnek, mint amennyire mondjuk egy oroszlán és egy bölény vagy egy vakond és egy koala hasonlít egymáshoz. A hozzánk hasonló nagy állatok számára a férgek utáni föld alatti áskálás, mint életmód, igencsak eltérőnek tűnik egy gumifán való levélrágcsálástól. Ám baktérium mesélőnk kémiai szempontjából valamennyi vakond, koala, oroszlán és bölény nagyjából ugyanazt műveli. Energiájukat valamennyien végső soron a növények által a napból begyűjtött energiával összeállított összetett molekulák lebontásából nyerik. A koalák és a bölények közvetlenül fogyasztják el a leveleket. Az oroszlánok és a koalák napenergiájukhoz közvetve, más (végső soron) növényeket fogyasztó állatok elfogyasztásával jutnak.

A külső energia elsődleges forrása a Nap. A növények sejtjeiben szimbiontaként élő zöld baktériumok közvetítésével a nap az egyedüli energianemzője a puszta szemmel magunk körül látható minden életnek. A nap energiáját zöld napelemek (a levelek) fogják be, és olyan szerves vegyületek szintézisének meggyorsítására használják, mint a növényekben lévő cukor és a keményítő. Az élővilág többi része eszerint egy sor, energiával társuló, lebontó és felépítő kémiai reakció révén eredetileg a növények által a napból befogott energiát használja. Energia áramlik tehát az egész élet-gazdaságon át, a napból a növényekbe, onnan a növényevőkbe, onnét a húsevőkbe, majd a hulladékevőkbe. Az út minden lépésén nem csupán az élőlények között, de belsejükben is lezajló minden energiaátadás energiaveszteséggel jár. Egy része elkerülhetetlenül soha vissza nem nyerhetetlen hőként illan el. A Napból jövő hatalmas mennyiségű energiaáram nélkül az élet, ahogy a tankönyvek szokták mondani, megtorpanna.

Ez nagyrészt még mindig igaz. Ám ezek a tankönyvek nem számoltak a baktériumokkal és az Archaeákkal. Egy kellően képzetdús kémikus meg tudna álmodni egy olyan energiaáramot ezen a bolygón, amely nem a Napból indul ki. És ha ez az álom egyáltalán használható kémiáról szólhat, akkor valószínűleg a baktériumok álmodnák meg először: esetleg előbb, mint hogy felfedeznék a napenergiatrükköt, ami pedig több mint 3 milliárd évvel ezelőtt volt. Valamiféle külső energiaforrásra szükség van, de nem feltétlenül a Napra. Sokféle anyag rejt kémiai energiát, energiát, amely a megfelelő kémiai reakciókkal felszabadítható. A hidrogén, a hidrogén-szulfid és néhány vasvegyület például olyan energiaforrások, amelyeket az élőlényeknek érdemes kibányászni. A bányász életmódra Canterburyben még visszatérünk.

Bár meséink nem első személyben szóltak, meséink utolsó szavaival hadd tegyek kivételt, és hadd adjam őket a *Thermus aquaticus* szájába:

> Pillantsatok az életre az én perspektívámból, ti eukarióták, és hamarosan lejjebb adjátok. Ti két lábon járó majmok, csutkósfarkú erdei cickányok, ti összeszikkadt lándzsáshalak, ti gerinces férgek, ti feltupírozott szivacsok, ti, jöttmentek, ti eukarióták, a ti unalmasan egyhangú egyházközösségetek egymástól alig-alig megkülönböztethető tagjai, ti alig vagytok többek, mint illékony hab a bakteriális élet felszínén. Hiszen a benneteket felépítő sejtek sem egyebek, mint az általunk, baktériumok által egymillió éve felfedezett trükköket újrajátszó baktériumtelepek. Mi már itt voltunk, mielőtt megérkeztetek, és itt leszünk, amikor eltűntök innét.

Canterbury

Ahogy az már illik is egy négymilliárd éves zarándoklathoz, Canterburynket a titok patinája borítja. Ez az élet eredeteként ismert szingularitás, de helyesebben nevezhetnénk az öröklődés eredetének is. Magáról az életről nincs világos meghatározásunk, hiszen olyan tény ez, amely ellentmond mind az intuíciónak, mind a hagyományos bölcsességnek. Ezékiel könyvének 37. fejezetében, amelyben a prófétát a csontok völgyébe parancsolják, az életet a lélegzettel azonosítja. Nem tudom megállni, hogy ne idézzem az idevágó részt („tetem az ő teteméhez" – micsoda mértéktartó nyelv).

> És én prófétálék, a mint parancsolva vala nékem. És mikor prófétálnék, lőn zúgás és ímé zörgés, és egybemenének a tetemek, mindenik tetem az ő teteméhez.
> És látám, és ímé inak valának rajtok, és hús nevekedett, és felül bőr borította be őket; de lélek nem vala még bennök.
> És monda nékem: Prófétálj a léleknek, prófétálj embernek fia, és mondjad a léleknek: Ezt mondja az Úr Isten: A négy szelek felől jöjj elő lélek, és lehelj ezekbe a megöltekbe, hogy megéledjenek!

És persze a szelek felől előjött a lélek(zet). És a holtak serege lélegzetet vett, és felállt. Ezékiel számára a lélek(zet) adja meg a holt és az élő közti különbséget. Maga Darwin is ugyanerre céloz az egyik legékesebben szóló fejezetében, *A fajok eredete* befejező szavaiban (kiemelés tőlem):

> Így a természetben folyó harcból, éhségből és halálból közvetlenül az elképzelhető legmagasztosabb eredmény: a magasabbrendű állatok létrejötte következik. Felemelő elképzelés ez, amely szerint a Teremtő az életet a maga különféle erőivel együtt eredetileg csupán néhány, vagy csak egyetlen formába lehelte bele, és miatt bolygónk a gravitáció megmásíthatatlan törvényét követve keringett körbe-körbe, ebből az egyszerű kezdetből kiindulva végtelenül sokféle, csodálatos és gyönyörű forma bontakozott ki – és teszi ma is. *(Kempis Tamás fordítása)*

Darwin joggal fordította meg az események Ezékielnél szereplő sorrendjét. Először az élet lehelete érkezett, és teremtett olyan feltételeket, amelyek közepette a csontok és az inak, a hús és a bőr utóvégre kialakulhatott. Mellesleg a „Teremtő" kifejezés *A fajok eredete* első kiadásában nem szerepelt, Csupán a második kiadásba került bele, talán a vallásos lobbinak tett engedményként. Darwin később Hooker barátjához intézett levelében megbánást emleget:

> Már régóta bánom, hogy megalázkodtam a közvélemény előtt, és a teremtés bibliai fogalmával éltem, amelyen valójában azt értettem, hogy valamely teljesen ismeretlen folyamat révén „megjelent". Jelenleg teljesen semmirevaló az élet eredetéről elmélkedni; ennyi erővel akár az anyag eredetéről is elmélkedhetnének.

Darwin feltehetőleg (és szerintem joggal) a primitív élet eredetét viszonylag (hangsúlyozom, viszonylag) könnyű problémának látta, ahhoz képest, amit ő megoldott: az egyszer elkezdődött élet hogyan fejlesztette ki elképesztő változatosságát, összetettségét és a jó terv erőteljes látszatát. Darwin később (egy Hookerhez intézett

másik levélben) mégis megpróbálkozik egy feltevéssel az egészet elindító „teljesen ismeretlen folyamatról". Az afölötti töprengés ragadtatta erre, vajon miért nem látjuk újra és újra kezdődni az életet.

> Gyakran mondják, hogy ma is jelen van az élő szervezet első megalkotásához szükséges összes olyan feltétel, amely akkoriban jelen lehetett. Ám ha (és ó, mekkora ha!) el tudnánk gondolni valami meleg kis tavat, benne mindenféle ammóniával, foszforsóval, fénnyel, hővel, elektromossággal stb., amilyenben még összetettebb változásokra készen egy fehérjevegyület kémiailag kialakult, az ilyen anyag ma azonnal felszívódna, amire nem került sor az élőlények kialakulása előtt.

A spontán nemzés tanát épp akkoriban támadta meg kísérletileg Pasteur. Hosszú ideig azt hitték, hogy a rothadó hús magától kelti a nyüveket, a kacsakagyló magától terem kislibákat, sőt azt is, hogy a szennyes ruhába helyezett búzából egerek kelnek ki. Visszás módon a spontán nemzés tanát az egyház is támogatta (mint oly sok másban, ebben is Arisztotelészt követve). Azért mondom, hogy visszás módon, mert – legalábbis utólagos bölcsességgel – a spontán nemzés az isteni teremtéssel szemben legalább olyan közvetlen kihívást jelentett, mint az evolúció. Az az ötlet, hogy a legyek vagy az egerek maguktól létrejöhetnek, jelentősen alábecsüli azt az óriási teljesítményt, amit a legyek vagy egerek teremtése jelentene: azt is gondolhatnók, a Teremtő megsértése ez. Ám a tudománymentes elmealkat elvéti megragadni azt, mennyire összetett és lényegileg valószerűtlen egy légy vagy egy egér. Talán Darwin volt az első, aki felmérte ennek a hibának a nagyságrendjét.

Még 1872-ben is szükségét érzi, hogy Wallace-nak, a természetes kiválasztódás társfelfedezőjének írott levelében kifejezze kételyeit a „kerekesférgek és a medveállatkák spontán nemzését" illetően, szemben az egyébként általa nagyra becsült *The Beginnings of Life* (Az élet kezdetei) című könyv állításaival. Kételyei szokás szerint a céltábla középpontjába kerültek. A kerekesférgek és a medveállatkák az életmódjukhoz gyönyörűen illeszkedő, összetett életformák. Az ő spontán nemzésük azt kívánná meg, hogy „szerencsés véletlen" folytán váltak alkalmassá és összetetté, márpedig „én ebben hinni nem tudok". Az efféle nagyságrendű szerencsés véletlenek Darwin számára szóba sem jöhettek, mint ahogy más oknál fogva az egyháznak is anatémával kellett volna sújtani őket. Darwin elmélete arra az okfejtésre épült, hogy az adaptív bonyolultság lassan, fokozatosan, lépésről lépésre valósul meg, és nem egyetlen lépésben, amely túl nagy követelményt támasztana a vakvéletlennel mint magyarázattal szemben. A darwini elmélet azzal, hogy a véletlent az ahhoz szükséges kis lépésekre bízza, melyek változatokkal látják el a szelekciót, az egyetlen valósághű *kiutat* nyújtja abból, hogy a vakszerencsét kelljen az élet magyarázatának tartanunk. Ha a kerekesférgek pusztán a szerencse által létre tudtak volna jönni, Darwin életműve szükségtelen lenne.

Ám a természetes kiválasztódásnak is el kellett indulnia valahogy. Egyedül ebben az értelemben, ha csak egyszer is, valamiféle spontán nemzésnek le kellett játszódnia. Darwin hozzájárulásának az a szépsége, hogy annak az egyszeri spontán nemzésnek, amit fel kell tételeznünk, nem kellett létrehoznia semmi olyan bonyolult dolgot, mint egy nyű vagy egy egér. Csupán arra volt szükség, hogy… hát igen: közeledünk a probléma lényegéhez. Ha nem a lélegzet, akkor hát mi volt az az alapvető alkotóelem, amely először lehetővé tette a természetes kiválasztódás

beindulását, hogy végül a felhalmozó evolúció hőstörténetein keresztül elvezessen a nyüvekhez, az egerekhez és az emberekhez?

A részletek talán örökre eltemetődtek a mi ősi Canterburynkben, de egy minimalista nevet azért adhatunk a leglényegesebb összetevőnek, hogy jelezzük azt a *fajta* dolgot, aminek lennie kellett. Ez a név az öröklődés. Nem a élet homályos és megfoghatatlan eredetét, hanem az öröklődés eredetét kell keresnünk – az igazi öröklődését, amely valami igen pontosan megragadhatót jelent. Már korábban megidéztem a tüzet, hogy segítsen a magyarázatban.

A tűz a lélegzettel verseng az élet képletes megjelenítéséért. Amikor meghalunk, az élet tüze kialszik. A tüzet elsőként megszelídítő őseink feltehetően élőlényként, sőt istenként képzelték el. A lángokba vagy a parázsba bámulva, különösen éjjel, amikor a tábortűz melegítette és óvta őket, vajon úgy társalogtak-e el vele képzeletben, mint egy izzó, táncoló lélekkel? A tűz addig él, amíg tápláljuk. A tűz levegőt lélegzik be; ha elvágjuk az oxigéntől, megfojthatjuk, és vízbe is fojthatjuk. Az elszabadult tűz elemészti az erdőt, és egy farkashorda sebességével és könyörtelenségével (szó szerint) forró nyomon űzi maga előtt az állatokat. Őseink úgy foghattak be tűzcsemetét, akár a farkaskölyköket, hasznos háziállatként szelídítgetve, rendszeresen táplálva és hamu ürülékétől megszabadítva. A tűzgyújtás művészetének feltalálása előtt a társadalmak bizonyára díjazták a befogott tűz gondozásának kisebb művészetét. Talán a házi tűz eleven sarját edényben vitték becserélni a szomszédos csoporthoz, amelynek tüze szerencsétlen módon kialudt.

Azt is megfigyelhették, hogy a tűzvészek leánytüzeknek adnak életet, amint szikrákat és eleven zsarátnokokat köpnek a szélbe, amely mint pitypangernyőket teszi le őket odébb, hogy magvat sarjasszanak a száraz fűben. Az ergaszter filozófusok vajon elmélkedtek-e azon, hogy a tűz nem teremtődhet spontán módon, hanem mindig szülői tűzből kell megszületnie, akár a puszták vad tüze, akár a kövekkel kerített házi tűz is az? És vajon épp ezért az első tűzgyújtó pálcák nem töröltek-e el egy egész világnézetet?

Őseink esetleg még a szaporodó tűzvészek valamiféle populációjáról, netán egy távoli klántól vásárolt parázsló ősre visszavezetett, majd másoknak továbbadott házi tüzek családfájáról is képzelődhettek. Valódi öröklődés azonban mégsem volt. Vajon miért nem? Hogyan lehet szaporodás és leszármazás öröklődés nélkül? Ez az a tanulság, amit a tűz itt megoszt velünk.

A valódi öröklődés nem magának a tűznek, hanem a tüzek közti *változatok*nak az öröklődését jelentené. Némelyik tűz sárgább, mások vörösebbek a többinél. Némelyik bőg, némelyik pattog, mások sziszegnek, füstölnek vagy köpködnek. Némelyeknek kék vagy zöld árnyalatú a lángja. Őseink, ha tanulmányozták volna háziasított farkasaikat, árulkodó különbséget vettek volna észre a kutyák és a tüzek családfája között. A kutyáknál a hasonló hasonlót szül. Legalábbis bizonyos vonások azok közül, amelyek egyik kutyát a másiktól megkülönböztetik, továbbadódnak a szülőktől. Természetesen oldalról is belépnek bizonyos vonások: a táplálék, a betegségek vagy balesetek révén. A tüzeknél valamennyi változat a környezetből fakad, s egyik sem a nemző szikrából fakad. Minden a tüzelőanyag minőségéből és nedvességéből, a szél irányából és erősségéből, a tűzhely huzatosságából, a talajból, és a nátrium sárga lángjához kékeszöld és lila árnyalatokat hozzáadó réz- és káliumnyomokból ered. A kutyától eltérően az életadó szikra révén semmi sem érkezik

egy felnőtt tűz minőségéből. A kék tüzek nem kék tüzeket szülnek. A ropogó tüzek nem attól a szülőtűztől örökölték pattogásukat, amelyik feldobta a lángra lobbantó szikrát. A tüzek öröklődés nélkül szaporodnak.

Az élet – sőt még az is mondhatnánk, az első gén – eredete volt a valódi öröklődés eredete. Sietek leszögezni, hogy első génen nem az első DNS-molekulát értem. Senki sem tudja, hogy az első gén DNS-ből készült-e, de én lefogadom, hogy nem. Az első génen az első replikátort értem. A replikátor olyan egység, például molekula, amely másolatok sorát készíti önmagáról. A másolás során mindig előfordulnak hibák, így a populáció változatok birtokába jut. A valódi öröklődés kulcsa az, hogy minden replikátor jobban hasonlít arra, amelynek másolata, mint a populáció valamely esetleges tagjára. Az első ilyen replikátor eredete nem volt valószínű esemény, viszont csak egyszer kellett megtörténnie. Ezután következményei automatikusan önfenntartók voltak, és végül a darwini evolúció révén elvezettek az egész élővilághoz.

Egy hossznyi DNS, vagy bizonyos körülmények esetén a rokon RNS-molekula, valódi replikátor. Akárcsak a számítógépes vírus. Vagy egy levéllánc. Ám mindezek a replikátorok bonyolult apparátus segítségére szorulnak. A DNS-nek a DNS-kód olvasására és lemásolására erősen alkalmazkodott, már meglévő biokémiai gépezettel gazdagon felszerelt sejtre van szüksége. A számítógépes vírusok más számítógépekhez fűzött adatkapcsolatra szorulnak, melyek mindegyikét emberi mérnökök terveztek meg úgy, hogy kódolt utasításoknak engedelmeskedjenek. Egy levélláncnak jó adag idiótára van szüksége, akik legalábbis az olvasásra elegendően képzett, fejlett aggyal bírnak. Az első replikátor *de novo, ab initio* működött, előzmény és a kémia közönséges törvényein kívül minden más segítség nélkül.

A kémiai reakciók hathatós segítői a katalizátorok, és valamilyen formájú katalizátorok bizonyára részt vettek a replikáció eredetében. A katalizátor olyan hatóanyag, amely anélkül gyorsítja fel a kémiai reakciót, hogy maga felemésztődne benne. Az összes biológiai vegyi folyamat olyan katalizált reakciókból áll, amelyekben a katalizátorok általában az enzimeknek nevezett nagy fehérjemolekulák. Egy jellegzetes enzim háromdimenziós alakjának formázott üregeit kínálja fel tartályként egy bizonyos kémiai reakció összetevői számára. Felsorakoztatja őket, ideiglenes kémiai kapcsolatba lép velük, és olyan céltudatos pontossággal párosítja össze őket, amelyet nyílt diffúzióban aligha fedeznének föl.

A katalizátorok lényegüknél fogva nem emésztődnek föl az általuk felgyorsított kémiai reakcióban, de termelődhetnek. Az autokatalizáló reakció olyan reakció, amely legyártja saját katalizátorait. Mint elgondolhatjuk, egy autokatalizáló reakció nehezen indul, de ha egyszer beindult, magától lendül neki – valóban hasonlít a tűzvészhez, mivel a tűz rendelkezik az autokatalizáló reakció bizonyos tulajdonságaival. A tűz szigorú értelemben véve nem katalizátor, de öngerjesztő. Kémiailag olyan hőleadással járó oxidációs folyamat, amelynek az elinduláshoz hőre van szüksége ahhoz, hogy átlendüljön egy küszöbértéken. Ha egyszer beindult, láncreakcióként folytatódik és terjed, mivel előállítja azt a hőt, amelyre az újrainduláshoz szüksége van. Egy másik nevezetes láncreakció az atomrobbanás, ám ez esetben nem kémiai reakcióról, hanem nukleárisról van szó. Az öröklődés egy autokatalizáló, vagy másként fogalmazva, önregeneráló folyamat szerencsés kiváltódásaként kezdődött. Azonnal nekilendült, és tűzként terjedt tova, és végül elvezetett a természetes szelekcióhoz és mindahhoz, ami abból következett.

A hőtermeléshez mi is széntartalmú tüzelőanyagot oxidálunk, de nem lánggal lobogva, mivel a mi oxidációnk szabályozott, lépésről lépésre csöpögtet energiát hasznos csatornákba, nem tékozoljuk el féktelenül. Ez a szabályozott vegyi folyamat, az anyagcsere éppen olyan egyetemes vonása az életnek, mint az öröklődés. Az élet eredetéről szóló elméleteknek számot kell adniuk mind az öröklődésről, mind az anyagcseréről, ám néhány szerző elvéti a prioritást. Arra törekedtek, hogy megalkossák az anyagcsere spontán eredetéről szóló elméletüket, és valamiként abban reménykedtek, hogy az öröklődés, más hasznos készségek mintájára ebből következett. Elsőként az öröklődésnek kellett megjelennie a színen, hiszen az öröklődés előtt magának a hasznosságnak sem volt értelme. Öröklődés, és így természetes szelekció nélkül semminek semmi haszna nem lett volna. Maga a hasznosság eszméje sem kezdődhetett el mindaddig, míg az öröklődő információ természetes szelekciója el nem indult.

Az élet eredetének ma is komolyan vehető legkorábbi elméletei az orosz A. I. Oparin és az angol J. B. S. Haldane nevéhez fűződnek. Mindketten az 1920-as években fejtették ki elméletüket, de egymásról mit sem tudva. Mindketten inkább az anyagcserét, mint az öröklődést hangsúlyozták. Mindketten belebotlottak abba a fontos ténybe, hogy az élet előtti Föld légkörének „redukálónak" kellett lennie ahhoz, hogy az élet elindulhasson. Ez a meglehetősen hálátlan műszó annyit jelent, hogy a légkör nem tartalmazott szabad oxigént. A szerves vegyületek (a szénvegyületek) szabad oxigén mellett hajlamosak arra, hogy akár égéssel, akár más módon szén-dioxiddá oxidálódjanak. Ez furcsának tűnhet nekünk, akik oxigén nélkül egy percen belül elpusztulnánk, de az élet nem keletkezhetett olyan bolygón, amelynek szabad oxigén volt a légkörében. Mint már korábban kifejtettem, az oxigén halálos méreg lehetett legkorábbi őseinknek. Mindaz, amit más bolygókról tudunk, csaknem biztossá teszi, hogy a Föld eredeti légköre redukáló volt. A szabad oxigén később jött, méghozzá az először szabadon úszó, később a növények sejtjeibe beépült zöld baktériumok hulladéktermékeként. Bizonyos ponton őseink kialakították azt a képességet, hogy megbirkózzanak az oxigénnel, később pedig függésbe kerültek tőle.

Egyébként túlegyszerűsítés lenne annyival elintézni a dolgot, hogy az oxigént a zöld növények és moszatok termelik. Való igaz, hogy a növények oxigént bocsátanak ki, ám amikor a növény elhal, lebomlik, mégpedig olyan kémiai reakciók során, amelyekkel összes széntartalmú anyaga elléghet, és ez annyi oxigént használhat el, amely felér a növény egész élettartama során kibocsátott mennyiséggel. Nem gyarapodna tehát a légköri oxigén nettó mennyisége, ha nem lenne egy tényező. Nem minden elhalt növény bomlik le. Egy része szénként (vagy hasonló anyagként) lerakódik, és kikerül a körforgásból. Ha az emberiség elégetné az összes fosszilis tüzelőanyagot, a légköri oxigén nagy részét szén-dioxid váltaná fel, és helyreállna az ősi *status quo*. Nem valószínű, hogy erre a közeljövőben sor kerül. Ám nem szabad elfelednünk, hogy az egyedüli oka annak, hogy van belélegzendő oxigénünk, nem más, mint hogy a világ szénkészletének többsége a föld alatt rekedt. Elégetésével csak magunkat kockáztatjuk.

A korai légkörben mindig is jelen voltak oxigénatomok, csak nem szabad oxigéngáz formájában. Olyan vegyületekben voltak megkötve, mint a szén-dioxid és a víz. Ma a szén nagy része élő testekben, vagy – ennél jóval nagyobb része – kőzetekben, a hajdani élő testek maradványaiból keletkezett krétában, mészkőben és

szénben lekötve található. A canterburyi időkben ugyanezek a szénatomok többnyire a légkör gázvegyületeiben – a szén-dioxidban és a metánban – fordultak elő. A nitrogén, amely ma a legfőbb légköri gáz, a redukáló légkörben a hidrogénnel alkotott vegyületeket, így például ammóniát.

Oparin és Haldane felismerték, hogy a redukáló légkör kedvező lehetett az egyszerű szerves vegyületek spontán szintéziséhez. Íme, Haldane saját szavai, melyeket nevezetes záró kitétele kedvéért idézek:

> No mármost, amikor az ultraibolya fény hatást gyakorol a víz, a szén-dioxid és az ammónia keverékekre, igen sokféle szerves anyag keletkezik, beleértve a cukrokat és nyilván néhány olyan anyagot is, amelyekből a fehérjék felépülnek. Ezt a tényt a liverpooli Baly és munkatársai kísérletileg igazolták. Ha a jelenlegi világban az ilyen anyagokat – hogy úgy mondjam – ráhagyjuk az enyészetre, elpusztítják őket a mikroorganizmusok.* Ám az élet kezdete előtt bizonyára addig halmozódtak, amíg a primitív óceánok el nem érték a forró, híg leves sűrűségét.

* Erre célzott Darwin is a „meleg kis tavacskás" levelében.

1929-ben írta ezeket, több mint 20 évvel Miller és Urey sokat idézett kísérlete előtt, amelyről Haldane beszámolóját olvasva azt is gondolhatnánk, bizonyos értelemben megismételte Balyét. E. C. C. Balyt azonban nem az élet eredete érdekelte, hanem a fotoszintézis, és azt érte el, hogy ultraibolya sugarakat lövellve oldott szén-dioxidot tartalmazó vízbe, cukrokat szintetizált, olyan katalizátorok jelenléte mellett, mint a vas vagy a nikkel. Nem is annyira maga Baly, mint inkább Haldane tételezett fel a rá jellemző éleselméjűséggel** a Miller–Urey-kísérlethez hasonló figyelemre méltó dolgot, és vezette azt vissza Baly eredményeire.

** Sir Peter Medawar – aki maga sem esett a feje lágyára – mondta Haldane-ről, hogy nem ismert nála okosabb embert.

Amit Miller Urey vezérletével tett, az a következő volt: fogott két egymás fölé helyezett lombikot, és összekötötte őket két csővel. Az alsó lombikban lévő felmelegített víz az ősóceánt mintázta. A felső lombik az őslégkört utánozta (metán, ammónia, vízpára és hidrogén). Az egyik csövön az alsó lombikban lévő melegített „óceán" párái szálltak fölfelé és kerültek a felső lombik „légkörének" felső rétegeibe. A másik cső a „légkörből" az „óceánba" vezetett vissza. Útközben áthaladt egy szikrakamrán („villámlás") és egy hűtőkamrán, ahol a pára kicsapódott, és „esőt" alkotva pótolta az „óceánt".

E körforgás-utánzatban mindössze egy hét múlva az óceán sárgásbarna színt öltött, és Miller kielemezte az összetételét. Ahogy Haldane megjósolta volna, szerves vegyületek levesévé változott, amely nem kevesebb, mint hét aminosavat tartalmazott a fehérjék eme alapvető építőkövei közül. A hét közül három – glicin, aszpargnisav és alanin – szerepel az élőlényekben található húszas listán. A Miller nyomán végzett későbbi kísérletek, amelyekben a metánt szén-dioxiddal vagy szén-monoxiddal helyettesítették, hasonló eredményeket hoztak. Levonhatjuk azt a messzemenő következtetést, hogy biológiailag fontos kismolekulák, így aminosavak, cukrok és mindenekelőtt a DNS és az RNS építőkövei, spontán módon kialakulnak, amikor az Oparin/Haldane primitív Földjének valamely változatát laboratóriumban szimuláljuk.

Oparin és Haldane előtt az élet eredetéről szőtt eszmefuttatások feltételezték, hogy az első szervezeteknek valamiféle növényeknek, esetleg zöld baktériumoknak kellett lenniük. Az emberek hozzászoktak ahhoz a gondolathoz, hogy élet a fotoszintézisen, vagyis a szerves vegyületek oxigénfelszabadulással járó, nap vezérelte

gyártásán alapul. Oparin és Haldane a redukáló légkör mellett úgy látták, hogy a növények később léptek színre. A korai élet a már meglévő szerves vegyületek tengerében keletkezett. Rendelkezésre állt a leves az evéshez; nem volt szükség fotoszintézisre, legalábbis addig, amíg a leves kitartott.

Oparin számára a döntő lépést az első sejt kialakulása jelentette. Márpedig a sejteknek mint organizmusoknak megvan az a fontos tulajdonságuk, hogy soha nem spontán módon, hanem mindig más sejtekből keletkeznek. Megbocsátható, ha az első „sejt" (anyagcserét folytató) eredetét az élet eredetének szinonimájaként tekintették, szemben velem, aki az első „gént" (replikátor) tekinteném annak. Az ugyanilyen beállítottságú mai teoretikusok közül a neves fizikus Freeman Dyson is így gondolja, és emellett áll ki. Az újabb elméletalkotók többsége, köztük Leslie Orgel Kaliforniában, Manfred Eigen és munkatársai Németországban, valamint Graham Cairns-Smith Skóciában – ez a semmiképp nem lebecsülendő szellemi magánzó – az önreplikációnak biztosítanak elsőbbséget mind időrendileg, mind fontosságát tekintve – szerintem nagyon helyesen.

Vajon hogy nézhet ki a sejt nélküli öröklődés? Nem a tyúk vagy a tojás problémával állunk szemben? Nyilván igen, ha az öröklődést úgy fogjuk fel, hogy DNS-t igényel, hiszen a DNS nem képes repikálódni hatalmas molekuláris szereplőgárda, köztük a fehérjék nélkül, amelyeket viszont csak DNS kódolta információval lehet előállítani. De pusztán abból, hogy a DNS az általunk ismert legfontosabb önreplikáló molekula, nem következik, hogy csak ezt az egyet tudnánk elképzelni, vagy az egyetlen olyan, amely egyáltalán létezett a természetben. Graham Cairns-Smith meggyőzően érvel amellett, hogy az eredeti replikátorok szervetlen ásványi kristályok voltak, míg a DNS egy kései bitorló, amely akkor léptett elő főszereplővé, amikor az élet eljutott arra a pontra, ahol egy ilyen *genetikai hatalomátvétel* lehetővé vált. Ezúttal nem vázolom föl álláspontját, részben azért, mert tőlem telhetőleg ezt már megtettem *A vak órásmester*ben, de van ennél nyomósabb okom is. Cairns-Smith az általam olvasottak közül a legvilágosabban fejti ki, hogy a replikáció volt az elsődleges, és hogy a DNS-t meg kellett előznie valamiféle előfutárnak, amelynek jellege attól eltekintve, hogy valódi öröklődést mutatott, ismeretlen. Úgy vélem, sajnálatos, hogy álláspontjának ez a megtámadhatatlan része az emberek tudatában összekapcsolódik az előfutár ásványi kristályként történő vitathatóbb és spekulatívabb felfogásával.

Semmi kifogásom nincs az ásványikristály-elmélettel szemben, ezért is említettem korábban, de amit igazából hangsúlyozni szeretnék, az a replikáció elsődlegessége és annak erőteljes valószínűsége, hogy a DNS később valamilyen előfutártól vette át a hatalmat. A leghatározottabban állást foglalhatok, ha könyvemben egy *másik* elméletre térek ki azzal kapcsolatban, mi is lehetett ez az előfutár. Bármié is legyen az eredeti replikátor végső érdeme, az RNS minden bizonnyal esélyesebb jelölt, mint a DNS, úgyhogy számos elméletalkotó az „RNS világnak" nevezett elméletében rá is osztotta az előfutár szerepét. Az RNS világ elmélethez kitérőt kell tennünk az enzimekhez. Ha a replikátor az élet show-jának a sztárja, akkor az enzim nem annyira háttérszereplő, mint inkább társszereplő.

Az élet teljességgel az enzimek azon virtuóz képességén múlik, hogy igen körmönfont módon katalizálják a biokémiai reakciókat. Amikor az iskolában először tanultam az enzimekről, a hagyományos (és szerintem elhibázott) bölcsesség azon

tétele, hogy a tudományt keresetlen példával kell oktatni, azt jelentette, hogy beleköptünk a vízbe, a nyálban lévő enzim-amiláz keményítőemésztő és cukorépítő erejének igazolásaként. Ebből azt a benyomást nyertük, hogy az enzim olyan, mint a maró sav. A biológiai mosószerek, amelyek enzimeket alkalmaznak a piszoknak a ruhákból történő kivonására, ugyanezt a benyomást keltik. Ám ezek a nagy molekulákat kisebb alkotórészeikre szétszedő, lebontó enzimek. Az építő enzimek kisebb összetevőkből nagyobb molekulákat szintetizálnak, miközben úgy viselkednek, mint valami „házasságközvetítő robotok", miként azt mindjárt elmagyarázom.

A sejt belseje ezernyi és különféle molekulából, atomból és ionból álló oldatot tartalmaz. Ezek egyes párjai csaknem végtelen sokféle módon kombinálódhatnának egymással, de végül is nem teszik. Szóval egy sejtben potenciális kémiai folyamatok hatalmas készlete vár arra, hogy megtörténjen, de többségükre nem kerül sor. Ne feledjük ezt, amikor az alábbiakról gondolkodunk. Egy kémiai laboratóriumban palackok százai állnak a polcokon, valamennyi gondosan lezárva, hogy tartalmuk ne találkozzék máskor, csak ha a kémikus úgy kívánja, vagyis amikor az egyik üvegből nyert mintát hozzáadja egy másik üvegből vett mintához. Elmondhatjuk, hogy egy kémiai laboratóriumban is potenciális kémiai folyamatok hatalmas készlete vár arra, hogy megtörténjen. És többségükre itt sem kerül sor.

Ám most képzeljük el, hogy valamennyi polcról levesszük a palackokat, és tartalmukat beleöntjük egy vízzel teli kádba. Esztelen tette ez a tudományos vandalizmusnak, mégis egy ilyen kád kicsit olyan, mint egy élő sejt.* Az ezernyi potenciális kémiai reakció sok száz összetevője nincs már külön üvegekbe zárva mindaddig, míg egymásra hatásuk meg nem kívántatik. Ehelyett összekevert állapotban állandóan ugyanazon a helyen tartózkodnak. Mégis tovább várnak, nagyrészt tétlenül, míg meg nem kívánják tőlük a kölcsönhatást, mintha virtuális palackokban volnának. Virtuális palackok nincsenek, vannak viszont házasságszerző robotként eljáró enzimek, de akár laborasszisztens robotoknak is nevezhetnénk őket. Az enzimek megkülönböztetést végeznek, nagyjából úgy, ahogy egy rádió állomáskeresője teszi, amikor egy bizonyos készüléket egy bizonyos adóval hoz összeköttetésbe, miközben nem vesz tudomást az antennáját azzal egy időben hordozó frekvenciák Bábelével bombázó sok száz egyéb jelről.

* Persze egy csomó membránnal, amelyek bonyolítják a képet.

Tegyük fel, hogy van egy fontos kémiai reakció, amelyben A összetevő egyesül B összetevővel, hogy megkapják Z eredményt. Egy kémiai laboratóriumban ezt úgy érjük el, hogy leemeljük a polcról az A feliratú üveget, majd egy másik polcról a B feliratút, egy tiszta lombikban összekeverjük a tartalmukat, miközben biztosítjuk az olyan egyéb szükséges feltételeket, mint a hő vagy a keverés. A kívánt reakciót mindössze két üvegnek a polcról való levételével értük el. Valamely élő sejtben rengeteg A molekula és rengeteg B molekula van a vízben úszkáló igen sokféle molekula között, ahol összetalálkozhatnak, de akkor is csak ritkán egyesülnek. Mindenesetre találkozásuknak nem nagyobb a valószínűsége, mint az ezernyi egyéb lehetséges kombinációnak. Most vezessünk be egy abzáz nevű enzimet, amely kifejezetten az A + B = Z reakció katalizálására való. Sok millió abzázmolekula található a sejtben, melyek mindegyike egy-egy robot laborasszisztensként jár el. Minden abzáz laborasszisztens megad egy A molekulát, igaz nem a polcról, hanem a sejtben szabadon úszók közül. Aztán elcsíp egy arra sodródó B molekulát. A-t keményen úgy markolja, hogy egy bizonyos irányba nézzen. B-t éppily keményen markolva pontosan a

kellő állásban és irányban hozzáilleszti A-hoz, hogy összekapcsolódjanak, és létrehozzák Z-t. Az enzim más műveleteket is végezhet, amelyek megfelelnek annak, amikor a laborasszisztens a keverőt kezeli, vagy meggyújt egy Bunsen-égőt. Esetleg ideiglenes kémiai viszonyba lép A-val vagy B-vel, atomokat vagy ionokat cserélnek, amelyeket végül visszakap, ezért minősül az enzim – úgy végezve, ahogy indult – katalizátornak. Mindez azzal az eredménnyel jár, hogy az enzimmolekula „szorításában" egy új Z molekula képződik. A laborasszisztens ekkor kiengedi az új Z molekulát a vízbe, és vár egy újabb arra járó A molekulára, amit fülön csíp, és a ciklus újraindul.

Ha nem volna laborasszisztens, egy sodródó A alkalmilag beleütközne egy sodródó B-be, és a megfelelő körülmények közt kötésre lépnének. De az ilyen szerencsés alkalom ritka lenne, nem gyakoribb, mint azok az alkalmi véletlen szülte találkozások, amelyekre akár A, akár B sok egyéb lehetséges partnerrel sort kerít. A belebotolhat C-be, és létrehozhatják Y-t. Vagy B beleütközhet D-be, és létrehozzák X-et. Szerencsés sodródás révén állandóan keletkezik kis mennyiségű Y és X. Ám az összes különbség az abzáz laborasszisztens enzim jelenlétéből fakad. Az abzás jelenlétében Z (a sejt szempontjából) ipari mennyiségben termelődik: valamely enzim a reakció spontán arányát általában egymillió és egy trillió közé eső szorzótényezővel sokszorozza meg. Ha egy másik enzimet vezetünk be, mondjuk az aciázt, A most B helyett C-vel egyesülne, megint csak egy megkergült futószalag sebességével, és bőségesen termelnék az Y készleteket. Ugyanarról az A molekuláról beszélünk, amely nincs üvegbe szorítva, hanem szabadon kombinálódhat akár B-vel, akár C-vel, attól függően melyik enzim van jelen, hogy nyakon csípje.

Z vagy Y termelődésének aránya tehát többek közt attól függ, hogy a két versengő laborasszisztens – abzáz és aciáz – közül mennyi úszik a sejtben. *Ez* viszont attól függ, hogy a sejt magjában a két gén közül melyik van bekapcsolva. Ennél azért a dolog kisé bonyolultabb: lehet, hogy jelen van egy abzázmolekula, csak nincs aktiválva. Ez például úgy fordulhat elő, hogy a laborasszisztens robotkarjai ideiglenesen bilincsbe kerülnek. A bilincs egyébként eszembe juttatja, hogy mint minden metaforánál, itt is elmondjam rituális figyelmeztetésemet, hogy fennáll a „robot laborasszisztens" félreértésének a kockázata. Egy enzimmolekulának valójában nincsenek karjai, hogy azokat kinyújtva olyan összetevőket kapjon el, mint A, nem is beszélve arról, hogy megbilincselésre odanyújtsa őket. Ehelyett különleges zónák vannak a felületén, amelyekhez mondjuk A vonzódik, akár mert szorosan illeszkedik egy formás üregbe, akár valamely egyéb rejtettebb kémiai tulajdonságának tulajdonithatóan. És ezt a vonzódást ideiglenesen hatálytalanítani lehet, oly módon, amely hasonlít egy kapcsolódás kiszámított elutasításához.

A legtöbb enzimmolekula különleges célra szolgáló gép, amelyek csak egyetlen terméket állítanak elő: mondjuk egyfajta cukrot, zsírt, purint vagy pirimidint (a DNS és az RNS építőköveit), vagy egy aminosavat (húsz közülük a természetes fehérje alkotóeleme). Ám némely enzim inkább olyan, mint a programozható szerszámgép, amelynek egy lyukszalag határozza meg a teendőit. Ezek közt kiemelt szerepe van a riboszómáknak,* ezeknek a fehérjéből és RNS-ből álló nagy és bonyolult szerszámgépeknek, amelyek maguk is fehérjéket készítenek. Az aminosavakat, a fehérjék építőköveit már megalkották a különleges célú enzimek, és ott úszkálnak a sejt körül, készen arra, hogy felcsípje őket a riboszóma. A lyukszalag az

* *A Taq meséje* fejti ki röviden.

RNS, különösen a „hírvivő RNS" (messenger RNS, mRNS). A hírvivő szalag, amely üzenetét maga is a genomban lévő DNS-ről másolta, betáplálódik a riboszómába, és amint áthalad a „leolvasófejen", a megfelelő aminosavak a genetikai kódot használó szalag által meghatározott sorrendben állnak össze egy fehérjeláncca.

Azt tudjuk, hogy működik ez a meghatározás, és ez kifejezhetetlenül gyönyörű. Létezik egy kis transzfer RNS-ekből (tRNS) álló készlet, amelyek mindegyike körülbelül 70 építőkőnyi hosszúságú. Az egyes tRNS-ek mindegyike a húszfajta aminosav egyikéhez és csakis egyikéhez tapad. A tRNS-molekula másik végén egy „antikodon", vagyis a genetikai kódnak megfelelően egy bizonyos aminosavat meghatározó rövid mRNS-szekvenciát (kodon) pontosan kiegészítő triplet helyezkedik el. Amint az mRNS-szalag áthalad a riboszóma leolvasófején, az mRNS minden kodonja a megfelelő antikodonnal kötődik hozzá egy tRNS-hez. Ennek következtében a tRNS másik végén lógó aminosav „párosodási helyzetbe" fejlődik föl, hogy hozzátapadjon az újonnan kialakuló fehérje gyarapodó végéhez. Amint az aminosav felzárkózott, a tRNS leválik, hogy egy új aminosav-molekulát keressen a kedvenc típusából, miközben az mRNS-szalag egy újabb rovátkával előrearaszol. Így halad előre a folyamat, és gyarapodik lépésről lépésre a fehérjelánc. Meglepő módon egyetlen mRNS-szalag egyidejűleg több riboszómával is képes megbirkózni. E riboszómák mindegyike a szalag más szakaszán mozgatja leolvasófejét, és mindegyik a saját frissen vert fehérjelánc változatát sajtolja ki.

Az egyes új fehérjeláncok elkészülése közben, amikor a riboszómáját tápláló mRNS teljesen áthaladt az adott riboszóma leolvasófején, a fehérje leválik. Bonyolult, háromdimenziós szerkezetté csavarodik össze, amelynek alakját a kémia törvényei határozzák meg a fehérjeláncban lévő aminosavak sorrendje által. Magát ezt a sorrendet viszont az mRNS hosszában elhelyezkedő kódszimbólumok sorrendje határozza meg. Azt a sorrendet viszont a DNS-nek a sejt főadatbázisát alkotó megfelelő szimbólumsorozata határozza meg.

Ebből következőleg a DNS kódolt szekvenciája vezérli azt, ami a sejtben végbemegy. Meghatározza az egyes fehérjék aminosavainak sorrendjét, ami eldönti a fehérje háromdimenziós alakját, amely viszont megadja annak a fehérjének sajátos enizmatikus tulajdonságait. Lényeges, hogy miként azt *Az egér meséjé*ben láttuk, a szabályozás annyiban közvetett lehet, hogy a gének határozzák meg, melyik másik gének kapcsoljanak be és mikor. Valamely sejt legtöbb génje nincs bekapcsolva. Ezért van az, hogy mindazon reakciók közül, amelyek végbemehetnének „a vegyes alkotóelemekkel teli dézsában", valójában csupán egy-kettőre kerül sor egyszerre: azokra, amelyek jellemző „laborasszisztense" az adott sejtben tevékeny.

A katalizátorokról és enzimekről szóló eme kitérőt követően fordítsuk most figyelmünket a közönséges katalizátorokról az autokatalizátorok különleges esetére, amelyek némely változata talán döntő szerepet játszott az élet eredetében. Gondoljunk vissza elméleti példánkra, amelyben A és B molekula abzáz enzim hatására Z molekulává egyesül. Mi van akkor, ha a Z a maga abzáza? Úgy értem, mi van akkor, ha történetesen Z molekula épp olyan alakú és kémiai tulajdonságú, hogy elcsípjen egy A-t és egy B-t, megfelelő irányba fordítja őket, és egy magához teljesen hasonló, új Z-vé egyesíti őket? Korábbi példánkban elmondhattuk, hogy az oldatban lévő abzáz mennyisége hatással lehetett a termelődő Z mennyiségére. Ám most, amikor Z egy és ugyanaz a molekula, mint az abzáz, csupán egyetlen Z mo-

lekulára van szükségünk a láncreakció beindításához. Az első Z nyakon csípi az A-kat és B-ket, hogy több Z-t alkotva egyesítse őket. Ezek az új Z-k aztán még több A-t és B-t kapnak el, hogy még több Z-t készítsenek és így tovább. Ez az autokatalízis. Megfelelő körülmények között a Z molekulák populációja exponenciálisan – robbanásszerűen növekszik. Ez a fajta dolog ígéretesen hangzik az élet eredetének egyik alkotóelemeként.

Ám ez az egész feltételezés. Julius Rebek és munkatársai a kaliforniai Scripps Intézetben váltották valóra. Ők a valós kémiában vizsgálták meg az autokatalízis néhány elképesztő példáját. Egyik példában Z amino-adenozin triacid-észter (AATE), A amino-adenozin, míg B pentafluorofenil-észter volt, és a reakció nem vízben, hanem kloroformban játszódott le. Szükségtelen mondani, hogy természetesen sem ezeket a kémiai részleteket, sem ezeket a hosszú neveket nem kell megjegyezni. Ami számít, az az, hogy a kémiai reakció terméke saját katalizátora. Az első AATE vonakodva jön létre, de amint kialakult, azonnali láncreakció lép mozgásba, amint egyre több, katalizátoraként szolgáló AATE szintetizálódik. És mintha ez nem volna elegendő, ez a ragyogó kísérletsorozat az alábbiakban meghatározandó értelemben vett valódi öröklődés kimutatásával folytatódott. Rebek és csapata rábukkant egy olyan rendszerre, amelyben az autokatalizált anyag több változata is létezett. Mindegyik változat az alkotóelemek kedvelt változatának felhasználásával a saját szintézisét katalizálta. Ez felvetette egy olyan egységekből álló populációban fennálló valódi verseny lehetőségét, amelyek valódi öröklődést és a darwini kiválasztás tanulságosan kezdetleges formáját mutatták.

Rebek kémiája erősen mesterséges. Története azonban gyönyörűen érzékelteti az autokatalizátorok elvét, miszerint egy kémiai reakció terméke saját katalizátoraként szolgál. Éppen valamilyen autokatalizátorra van szükségünk az élet eredetéhez. Vajon az RNS vagy valami RNS-szerű a korai Föld feltételei közepette autokatalizálhatta-e saját szintézisét Rebek-módra és kloroform helyett vízben?

Van itt egy súlyos probléma, amelyet a Nobel-díjas német kémikus, Manfred Eigen értelmezett. Kimutatta, hogy minden önreplikációs folyamat ki van téve a másolási hiba – vagyis a mutáció általi korcsosulásnak. Képzeljünk el egy replikálódó egységekből álló populációt, amelyben minden másolási esemény során magas a hiba valószínűsége. Ha egy kódolt üzenet meg akarja őrizni magát a mutáció pusztításaival szemben, minden generációból a populáció legalább egy tagjának azonosnak kell lennie a szülőjével. Ha például egy RNS-lánc tíz kódegységből („betűből") áll, az átlagos hibaaránynak betűnként egy a tíznél kisebbnek kell lennie: ekkor számíthatunk arra, hogy az utódnemzedék legalább néhány tagja részesül a pontos kódbetűk teljes tisztességében. Ám ha a hibaarány magasabb, könyörtelen elfajzás megy végbe minden generációval, egyedül a mutációnak tulajdoníthatóan úgy, hogy a szelekciós nyomás erősége nem is számít. Ezt nevezik hibakatasztrófának. A fejlett genomok hibakatasztrófái képezik a főtémáját Mark Ridley kihívó könyvének, a *Mendel's Demon*nak (Mendel démona),* de itt most bennünket magát az élet eredetét veszélyeztető hibakatasztrófák érdekelnek.

Rövid RNS- és valójában DNS-láncok is replikálódhatnak maguktól, enzim nélkül. Ám a betűnkénti hibaarány jóval magasabb, mint amikor egy enzim is jelen van. Márpedig ez azt jelenti, hogy jóval azelőtt, hogy kellő hosszúságú gén épülhetne fel egy működő enzim fehérjéjének megalkotásához, a szárnyát bontogató

* Ez a kiváló könyv is elszenvedte az Amerikában átkeresztelt művek közös sorsát. Ha az USA-ban kívánjuk megtalálni, *The Cooperative Gene* (Az együttműködő gén) címen keressük. Miért járnak el így a kiadók? Hisz annyi bonyodalmat okoz. Sietek kijelenteni, hogy semmi kifogásom *Az együttműködő gén* cím ellen. A gének természetesen együttműködnek (lásd *Az önző gén* című könyvemet). A Mendel démona is jó cím, bár a *Genetic Meltdown* (Genetikai zuhanás) talán még jobban illett volna a könyv üzenetéhez. Matt Ridley (nem rokona Marknak, hacsak meg nem állapítja az Y-kromoszóma-elemzés) mondja, hogy bár *Nature via Nature* (A természet a természeten át) című könyvének keménykötéses változatát ezen a címen adják ki az USA-ban, a papírkötéses átnevezték – no nure? – *The Agile Gene*-re (A tevékeny gén).

gént elpusztította volna a mutáció. Ez az élet eredetének 22-es csapdája. Egy enzim meghatározásához kellően nagy gén túl nagy lenne ahhoz, hogy annak az enzimnek a segítsége nélkül pontosan replikálódjék, amelyet éppen meg próbálna határozni. Így a rendszer nyilván nem képes beindulni.

Eigen a 22-es csapdájának a megoldásához a hiperkör elméletét ajánlja, amely az „oszd meg, és uralkodj!" régi elvére épül. A kódolt információ olyan alegységekre oszlik, amelyek a hibakatasztrófa küszöb alatt fekszenek. Minden alegység önálló minireplikátor, amely elég kicsi ahhoz, hogy minden generációban legalább egy másolat fennmaradjon belőle. Valamennyi alegység valamely fontosabb, nagyobb funkcióban működik együtt, amelyek elég nagyok ahhoz, hogy hibakatasztrófát szenvedjenek el, ha egy nagyobb vegyület katalizálná őket, ahelyett hogy fel lenének osztva.

Ahogy eddig bemutattam az elméletet, fennáll a veszélye annak, hogy az egész rendszer ingatag legyen, mivel egyes alegységek másoknál gyorsabban replikálják magukat. Ezen a ponton lép be az elmélet okos része. Minden alegység a többi jelenlétében boldogul. Pontosabban, mindegyik termelődését a másik jelenléte katalizálja úgy, hogy függőségi kört – „hiperkört" – alkotnak. Ez magától elejét veszi annak, hogy valamely elem előrevágtázzon. Nem teheti meg, mivel a hiperkörben elődjétől függ. John Maynard Smith mutatott rá a hiperkör és egy ökoszisztéma hasonlóságára. A halak száma táplálékukul szolgáló *Daphnia* (vízibolhák) populációjától függ. Ugyanakkor a halak száma hatást gyakorol a halevő madarak populációjára. A madarak guanót termelnek, és ezen azok az algák virágoznak, amelyeken a *Daphnia* él. A függőség egész köre a hiperkör. Eigen és kollégája, Peter Schuster egyfajta molekuláris hiperkört javasol az élet eredete 22-es csapdájának feloldására.

Ezen a ponton hátat fordítok a hiperkörelméletnek, és visszatérek ahhoz a felvetéshez, amellyel teljesen egyetértek, miszerint az RNS azokban a korai napokban, amikor az élet még éppen csak elkezdődött, és fehérje nem létezett, saját katalizátoraként szolgálhatott. Ez az RNS-világ-elmélet. Ahhoz, hogy megértsük, mennyire kézenfekvő ez, meg kel vizsgálnunk, miért válnak be a fehérjék oly jól enzimként, és miért olyan rosszak replikátorként; hogy miért oly jó a DNS replikátorként, ám rossz enzimként; és végül, miért lehetett az RNS éppen elég jó mindkét szerepben ahhoz, hogy kitörjön a 22-es csapdájából.

Az enzimtevékenység szempontjából nagyrészt a háromdimenziós alak az, ami számít. A fehérjék jól beválnak enzimként, mivel egydimenziós aminosav-sorozatuk automatikus következményeként csaknem bármilyen alakot felölthetnek három dimenzióban. Azt a csomót, amelyet a fehérjelánc köt magán, az aminosavaknak a lánc különböző részein lévő más aminosavakhoz való vonzódása határozza meg. Így egy fehérjemolekula háromdimenziós alakját az aminosavak egydimenziós sorozata, azt viszont a génben lévő kódbetűk egydimenziós sorozata írja elő. Elvileg (a gyakorlat ugyanis más, és iszonyúan bonyolult) fel lehet írni olyan aminosav-sorozatokat, amelyek maguktól a kívánt alakúra tekerednek össze: nem csupán olyan alakúra, amely beválik enzimként, hanem bármely általunk megadott alakúra.* A fehérjéknek ez az adottsága teszi őket alkalmassá arra, hogy enzimként működjenek. Van olyan fehérje, amely bármelyiket képes kiválasztani a sok száz kémiai reakció közül, amelyek egy összetevőkkel zsúfolt sejtben végbemehetnek.

A fehérjék tehát csodálatos enzimek, amelyek bármely kívánatos formába össze tudják magukat csomózni. Ugyanakkor viszont pocsék replikátorok. A DNS-sel és

* Valójában számos különböző aminosav-sorozat eredményez ugyanolyan alakot, és ez az egyik oka annak, hogy kételkedjünk egy bizonyos fehérjelánc előállításának csillagászati „valószínűtlenségű" naiv kiszámításában úgy, hogy a 20-at hosszúságának a hatványára emeljük.

az RNS-sel ellentétben, amelyek összetevői meghatározott páralkotási szabályokkal rendelkeznek (ezek e két ihletett fiatalember által fölfedezett és róluk „Watson–Crick párosítási szabályoknak" nevezett szabályok), az aminosavaknak nincsenek ilyen szabályaik. A DNS ezzel szemben nagyszerű replikátor, de csapnivaló jelölt az enzimeknek az életben betöltött szerepére. Ez azért van, mert a fehérjék csaknem végtelen háromdimenziós alakváltozataival ellentétben a DNS-nek csak egyféle alakja van: a híres kettős hélix (csigavonal). A kettős hélix eszményien alkalmas replikációra, mivel a lépcső két oldala könnyen elválik egymástól, és mindegyik szabadon áll ahhoz, hogy a Watson–Crick páralkotási szabályok alapján csatlakozó új betűk sablonja legyen. Más egyébre nem is igen alkalmas.

Az RNS rendelkezik a DNS egynémely replikátori, és a fehérjék egynémely, az enzimek szakavatott formázójaként érényével. Az RNS négy betűje kellően hasonlít a DNS négy betűjére ahhoz, hogy bármelyikük szolgálhasson a másik sablonjaként. Másfelől az RNS nem alkot könnyen kettős hélixet, ami azt jelenti, hogy replikátorként a DNS-nél valamivel alsóbbrendű. Ez részben azért van, mert a kettőshélix-rendszer a hibajavításra alkalmas. Amikor a DNS kettős hélixe felbomlik, és mindegyik hélix azonnal a kiegészítője mintájaként szolgál, egyből ki lehet nyomozni, és ki lehet javítani a hibákat. Minden leány-lánc „szülőjéhez" tapad, s a kettőjük közti összehasonlítás azonnali hibafelderítést tesz lehetővé. Az erre az elvre épülő korrektúrázás egy a milliárdhoz nagyságrendben csökkenti a mutációs arányt, és ez teszi lehetővé a miénkhez hasonló nagy genomokat. Az RNS-nek, amelyből hiányzik ez a fajta korrektúrázás, több ezerszer magasabb a mutációs aránya, mint a DNS-nek. Tehát csak a kis genommal rendelkező, egyszerű szervezetek, mint némely vírusok, használhatják fő replikátorként az RNS-t.



Szabadon köthet magán csomót
Az önmagával párt alkotva miniatűr kettős hélixet képező transzfer-RNS számítógépes grafikája.

Ám a kettőshélix-szerkezetnek éppúgy van előnyös, mint hátrányos oldala. Minthogy az RNS-lánc nem egyfolytában kiegészítő párjával tölti az összes idejét, hanem amint létrejött, elszakad kiegészítőjétől, és így szabadon bogozódhat össze a fehérjékhez hasonló csomókká. Azt, amit a fehérje az aminosavaknak ugyanazon lánc más részein lévő, eltérő aminosavakhoz való kémiai vonzódásuk révén ér el, az RNS a közönséges Watson–Crick alappárosítási szabályok alkalmazásával éri el, ugyanazokéval, amelyek az RNS-másolatok készítésekor is használatban voltak. Másként fogalmazva, olyan partnerlánc hiányában, amellyel a DNS-hez hasonló kettős hélixben párt lehetne alkotni, az RNS szabadon alkot „párokat" saját páratlan darabkáival. Az RNS kis szakaszokat talál önmagán, amelyekkel párt alkothat akár miniatűr kettős hélixben, akár valamely másik alakzatban. A párosítási szabályok kimondják, hogy ezeknek a szakaszoknak ellentétes irányokba kell haladniuk. Egy RNS-lánc ezért hajlamos arra, hogy egy sor hajtűkanyarra

szakadozzék. A háromdimenziós alakzatok azon repertoárja, amelybe egy RNS-molekula képes magát belevetni, nem lehet olyan hatalmas, mint egy nagy fehérjemolekuláé. Ahhoz azonban elég nagy, hogy arra a gondolatra ösztönözzön, hogy az RNS feltehetően sokoldalú enzimarzenált biztosíthat. És szó, ami szó, számos, ribozimnak nevezett RNS-enzimet fedeztek föl. Mindebből az a következtetés adódik, hogy az RNS rendelkezik a DNS egynémely replikátori erényével és a fehérjék egynémely enzim erényével egyaránt. Meglehet, hogy a DNS, azaz a főreplikátor eljövetele és a fehérjék, azaz a fókatalizátorok eljövetele előtt létezett egy olyan világ, amelyben az RNS egyedül rendelkezett elegendővel mindkét erényből ahhoz, hogy helyettesítse mindkét szakértőt. Talán az eredeti világban egy RNS-tűz lobban fel önmagától, ami később fehérjéket kezdett készíteni, amelyek megfordultak, és segítettek az RNS, majd később a DNS szintézisében is, amely aztán átvette a domináns replikátori szerepet. Ebben reménykedik az RNS-világ elmélet, amely közvetett támogatást nyer egy elragadó kísérletsorozattól, amit a Columbia Egyetemen Sol Spiegelman kezdeményezett, és az évek során különböző formákban mások is megismételtek. Spiegelman kísérleteiben fehérjeenzimet használt, így azt is gondolhatnánk, hogy csalás, ám olyan látványos eredményeket kapott, melyek az elmélet oly fontos kapcsolatait világítják meg, hogy mégsem tudunk megszabadulni az érzéstől, hogy így is megérte.

Először lássuk a hátteret. Van egy Qβ nevű vírusunk. Ez egy RNS-vírus, ami azt jelenti, hogy génjei DNS helyett teljesen RNS-ből állnak. RNS-e replikálásához egy Qβ replikáz nevű enzimet használ. Szabad állapotban a Qβ bakteriofág, (röviden fág) – vagyis a baktériumok, elsősorban az *Escherichia coli* bélbaktérium élősködője. A baktériumsejt úgy „gondolja", hogy a Qβ RNS saját messenger RNS-ének egy darabja, így riboszómái pontosan úgy járnak el vele kapcsolatban, mintha az lenne, holott az általa gyártott fehérje a gazdabaktérium helyett a vírusnak jó. Négy ilyen fehérje van: egy köpenyfehérje, amely védi a vírust; egy ragasztófehérje, amely hozzáragasztja a baktériumsejthez; egy úgynevezett replikációs faktor, amelyre rögvest visszatérek; és egy bombafehérje, amely elpusztítja a baktériumsejtet, amint a vírus befejezte a replikálódást, miáltal több tízezer vírus szabadul ki, amelyek mindegyike saját kis fehérjeköpenyében utazik mindaddig, míg bele nem ütközik egy másik baktériumsejtbe, és újra nem kezdődik a ciklus. Említettem, hogy visszatérek a replikációs faktorhoz. Azt is gondolhatnánk, hogy ennek a Qβ replikáz enzimnek kell lennie, ám valójában ennél kisebb és egyszerűbb. A kis vírusgén maga nem tesz mást, minthogy olyan fehérjét készít, amely összevarr három másik fehérjét, amelyeket a baktérium máskülönben saját (és teljesen eltérő) céljára készít. Amikor ezeket a vírus saját kis fehérjéje összeölti, az ily módon alkotott vegyület a Qβ replikáz.

Spiegelman ebből a rendszerből csupán két összetevőt tudott elkülöníteni: a Qβ replikázt és a Qβ RNS-t. Ezeket némi kismolekulás nyersanyaggal – vagyis az RNS-gyártás építőköveivel – együtt vízbe tette, és megfigyelte, mi történik. Az RNS kis molekulákat ragadott meg, és a Watson–Crick párosítási szabályok alkalmazásával másolatokat készített magáról. Ezt a tettet mindenféle baktériumgazda, fehérjeköpeny vagy a vírus bármi egyéb alkatrésze nélkül valósította meg. Ez önmagában is szép eredmény volt. Vegyük figyelembe, hogy a fehérjeszintézis, amely szabad körülmények között ezen RNS rendes tevékenységei közé tartozik, teljesen kikerült a kör-

ből. Kaptunk egy lecsupaszított RNS-replikációs rendszert, amelyik anélkül készít másolatokat magáról, hogy fehérjekészítéssel bajlódna.

Ezután Spiegelman valami csodálatosat tett. Egyfajta evolúciót hozott mozgásba ebben a teljesen mesterséges kémcsővilágban, amelyben sejtek egyáltalán nem vettek részt. Képzeljünk el egy kémcsövek hosszú sorából álló berendezést, amelyek mindegyike tartalmaz Qβ replikázt és nyers építőköveket, de nem tartalmaz RNS-t. Spiegelman az első kémcsövet beoltotta egy kis adag Qβ RNS-sel, amely ahogy kell is, jó sok másolatot készített magáról. Ezután egy kis adag mintát vett a folyadékból, és egy cseppjét a következő kémcsőbe cseppentette. Ez a mag-RNS nekiállt replikálódni a második kémcsőben, és miután ez zajlott egy darabig, Spiegelman kivett egy cseppet a második kémcsőből, és beoltotta vele a harmadik szűz kémcsövet. És így tovább. Olyan ez, mint amikor tüzünkből egy szikra új tüzet gerjeszt a száraz fűben, aztán az új tűz egy másikat vet el és így tovább egy vetési láncolatban. Ám az eredmény igencsak más volt. Míg a tüzek nem öröklik magjuk egyetlen tulajdonságát sem, Spiegelman RNS-molekulái örökölték. A következmény pedig... természetes szelekció általi evolúció, annak legalapvetőbb és legcsupaszabb formájában.

Spiegelman a „generációk" előrehaladtával mintát vett a kémcsöveiben lévő RNS-ből, és nyomon követte tulajdonságaikat, beleértve a baktériummegfertőző képességeiket is. Elképesztő megállapításra jutott. Az alakuló RNS fizikailag egyre kisebbé vált, ugyanakkor egyre kevésbé volt fertőző, amikor baktériumot kínáltak a mintáiknak. 74 nemzedék* után a kémcsőben lévő jellemző RNS-molekula „vad őse" méretének csupán apró töredékére fogyatkozott. A vad RNS körülbelül 3600 „szemből" álló nyaklánc volt. 74 nemzedéknyi természetes kiválasztás után egy kémcső átlagos lakója mindössze 550 szemre csökkentette magát, ami nem kedvező a baktériumok, de kiváló a kémcsövek megfertőzése szempontjából. Ami történt, egyértelmű. Az egész RNS-vonalon spontán mutációk jelentek meg, és a túlélő mutánsok alkalmasak voltak a túlélésre a kémcsővilágban, mint a parazitafertőzésre váró baktériumok természetes világára. A fő különbség feltehetően az volt, hogy a kémcsővilág RNS-e jól megvan mindazon kódolás nélkül, amelyek azon négy fehérje előállítására rendeltettek, amelyek a baktériumok működő aktív parazitájaként tényked vad vírus fennmaradásához nélkülözhetetlen köpeny, bomba és egyéb kellékek előállításához szükségesek. Ami maradt, nem volt más, mint a Qβ replikázzal és nyersanyagokkal telített kémcső tollpárnás világában való replikálódáshoz szükséges puszta minimum.

Ez a vad őse méretének tizedrészét sem elérő puszta túlélőminimum vált ismertté a Spiegelman szörnye néven. Minthogy kisebb, a karcsúsodott változat gyorsabban szaporodik, mint a versenytársai, ezért a természetes szelekció fokozatosan megnöveli részesedését a populációban (egyébként a populáció pontosan a megfelelő szó, még akkor is, ha szabadon úszó molekulákról és nem vírusokról vagy bármiféle egyéb organizmusról van szó).

Elképesztően hangzik, de csaknem ugyanaz a Spiegelman szörny újra és újra kialakul, ha újra lefuttatjuk a kísérletet. Mi több, Spiegelman és Leslie Orgel, az élet eredete utáni kutatások egyik vezető alakja, további kísérleteket hajtottak végre, amelyben olyan veszélyes anyagot adtak az oldathoz, mint az ethidium-bromid. Ilyen feltételek között egy másik szörnyeteg alakul ki, olyan, amely ellenálló az

* Természetesen kémcsőnemzedékekről van szó: az RNS-nemzedékek száma magasabb lehet, mivel az RNS-molekulák többször is replikálódnak az egyes kémcső-nemzedékeken belül.

ethidium-bromiddal szemben. A különböző kémiai akadálypályák különböző specializált szörnyek felé terelték az evolúciót.

Spiegelman kísérletei természetes „vad típusú" Qβ RNS-t használtak kiindulópontul. A Manfred Eigen laboratóriumában dolgozó M. Sumper és R. Luce valóban káprázatos eredményt értek el. Bizonyos körülmények között egy *RNS-t egyáltalán nem*, csupán az RNS előállításához szükséges nyersanyagokat és Qβ replikáz enzimet tartalmazó kémcsőben magától is termelődhet önreplikáló RNS, amely megfelelő körülmények között Spiegelman szörnyéhez hasonlóvá fejlődhet. Mellékesen ennyit a teremtéshívők félelmeiről (vagy tán azt is mondhatnánk: reményeiről), miszerint túl „valószínűtlen" a nagymolekulák kialakulása. Ilyen az összegződő természetes kiválasztódás puszta ereje (ilyen messzire áll a természetes kiválasztódás attól, hogy vakvéletlen folyamat legyen). Spiegelmag szörnyének csupán néhány napra volt szüksége ahhoz, hogy a semmiből felépítse magát. Ezek a kísérletek azonban még mindig nem közvetlen próbakövei az élet eredete RNS-világ hipotézisének. Vagyis még mindig van egy kis „csalás" abban, hogy mindvégig jelen van a Qβ replikáz. Az RNS-világ elmélet a maga reményeit az RNS saját katalizáló erejére építi. Ha az RNS, mint tudjuk, képes más reakciók katalizálására, nem katalizálhatná esetleg saját szintézisét is? Sumper és Luce kísérlete megvolt RNS nélkül, de Qβ replikázt biztosítottak. Olyan új kísérletre van szükségünk, amely megvan Qβ replikáz nélkül is. A kutatás folytatódik, amitől izgalmas eredményeket várok. Ám most egy újabban divatos gondolatmenetre szeretnék áttérni, amely teljesen összeegyeztethető az RNS-világgal és az élet eredetéről szőtt sok más jelenlegi elmélettel is. Az igazi újdonság az a helyszín, ahol a feltevések szerint az első döntő eseményre sor került. Ez pedig nem a „meleg kis tócsa", hanem a „forró, mély kőzet" – vagyis ez az izgalmas elmélet annyit jelent, hogy zarándokainknak utazásuk befejezéséhez és Canterbury elhelyezéséhez most mélyen a föld alá kell fúrniuk, le az ősi kőzetbe.

Az elmélet fő ihletője egy másik független szellem, Thomas Gold, aki eredetileg csillagász, de elég sokoldalú ahhoz, hogy kiérdemelje a ma már ritkaságnak számító „egyetemes tudós" megtisztelő címet, és elég köztiszteletben álló ahhoz, hogy mind a londoni Royal Society, mind az amerikai National Academy of Sciences tagjává válassza.

Goldnak az a meggyőződése, hogy talán tévesen hangsúlyozzuk a Napnak mint az élet főenergetikusának szerepét. Talán már megint félrevezetett bennünket az, ami történetesen megszokott; talán megint érdemtelenül a dolgok rendjének középpontjába helyeztük magunkat és a miénkhez hasonló életet. Egy időben a tankönyvek azt bizonygatták, hogy az egész élet végső soron a napfénytől függ. Aztán, 1977-ben sor került arra a meghökkentő felfedezésre, hogy az óceánfenék mélyén lévő vulkanikus kürtők élőlények különös közösségeinek adnak otthont, amelyek a napfény áldásai nélkül élnek. A vörösen izzó láva 100 °C fölé emeli a víz hőmérsékletét, amely azon mélységek roppant nyomása miatt mégis jóval alatta marad a forráspontnak. A környező víz nagyon hideg, és a hőmérséklet-gradiens különbözőfajta baktérium-anyagcserét mozgat. Ezek a hőkedvelő baktériumok, köztük a szulfidbaktériumok – amelyek a vulkánkürtőkből kiáramló hidrogén-szulfidot hasznosítják – alkotják az alapját annak a bonyolult élelmiszer-láncolatnak, amelynek magasabb szemei között találjuk a három méternél hosszabbra is megnövő

vérvörös csőférgeket, a tapadókagylókat, az étikagylókat, a tengericsillagokat, a kacsakagylókat, a fehér rákokat, a garnélarákokat, a halakat és olyan gyűrűsférgeket, amelyek képesek megélni 80 °C-on. Akadnak olyan baktériumok, mint láttuk, amelyek különösebb megerőltetés nélkül elviselik az ilyen hadészi hőmérsékleteket, de semelyik más ismert állat nem képes erre, és ezeket a soksertéjű gyűrűsférgeket (Polychaeta) el is nevezték Pompeii-férgeknek. Némely szulfidbaktériumnak állatok adtak szállást, például az étikagylók és a hatalmas csőférgek, amelyek különleges biokémiai lépéseket tesznek, amikor hemoglobint (innét van vérvörös színük) használnak arra, hogy szulfiddal táplálják saját baktériumaikat. Az életnek ezek a telepei, amelyek a forró vulkáni kürtőkből a baktériumok által nyert energiára épülnek, mindenkit megleptek, először puszta létükkel, majd viruló gazdagságukkal, amely meglepő ellentétben áll a környező tengerfenék csaknem sivatagi körülményeivel.

A legtöbb biológus még e szenzációs felfedezés után is úgy véli, hogy az élet a Nap köré szerveződik. Bármilyen elképesztők is e mélytengeri füstölgők közösségeinek a lényei, legtöbben ritka és nem jellegzetes aberrációnak tekintjük őket. Gold más véleményen van. Úgy véli, hogy a forró, sötét, magas nyomású mélységek azok, ahová az élet alapvetően tartozik, és ahonnét ered. Ez a hely nem szükségszerűen a tengerben, hanem esetleg a mélyen a föld alatt fekvő kőzetekben található. Mi, akik a felszínen, a fényben, hidegben és a friss levegőn élünk, mi vagyunk a kirívó rendellenességek! Kimutatja, hogy a „hopanoidok", vagyis a bakteriális sejtek falában képződő szerves molekulák a kőzetekben mindenütt megtalálhatók, és idéz egy mérvadó becslést, miszerint a világon 10 és 100 trillió tonna hopanoid fordul elő a kőzetekben. Ez lazán felülmúlja a felszíni élet mintegy egytrillió tonna szerves szénvegyületét.

Gold megjegyzi, hogy a kőzeteket repedések és hasadások barázdálják, amelyek bár kicsik a szemünknek, több mint egy milliárd trillió köbcentiméternyi forró, nedves helyet biztosítanak, amely megfelelő az élet bakteriális szintű létéhez. A hőenergia és maguk a kőzetek vegyületei is elegendőek lennének ahhoz, hogy nagy számú baktériumot tartsanak el. Gold megjegyzi, hogy számos baktérium megél a 110 °C-ig terjedő hőmérsékleten, ami megengedné, hogy 5–10 kilométer mélységben éljenek, vagyis olyan távolságban, amelyet nem egész ezer év alatt képesek megtenni. Lehetetlen igazolni becsléseit, de úgy véli, hogy a forró, mély kőzetben lévő biomassza mennyisége meghaladhatja annak a felszíni, Napra épülő biomasszának a mennyiségét, amely számunkra ismerős.

Az élet eredetére térve Gold és mások is rámutattak arra, hogy a termofilia – vagyis a hőkedvelés – nem számít különcségnek a baktériumok és az Archaea körében. Sőt gyakori: olyannyira és oly széleskörűen elterjedt a baktérium családfák esetében, hogy akár ez is lehetett az a primitív állapot, amelyből a mi meghitt hűvös életformánk kialakult. A kémiát és a hőmérsékletet illetően a korai Föld felszíni viszonyai – némely tudós hadészi kornak nevezi ezt az időszakot – inkább hasonlítottak Gold forró, mély kőzeteinek körülményeire, mint a mai felszíni viszonyokra. Valóban meggyőzően lehet érvelni amellett, hogy ha leásunk a kőzetbe, akkor visszafelé ásunk az időben, és az élet forró Canterburyjének a körülményeihez hasonló valamit hozunk ismét a felszínre.

Az eszmét legutóbb Paul Davies, az angol-ausztrál fizikus karolta föl újra, akinek könyve, *The Fifth Miracle* (Az ötödik csoda) összefoglalja a Gold 1992-es tanul-

mánya óta feltárt új bizonyítékokat. Szigorú elővigyázatossági intézkedések közepette, hogy kizárják a felszínről történi szennyeződést, számos fúrási mintában találtak élő és szaporodó hipertermofil baktériumokat. E baktériumok némelyikét sikeresen kitenyésztették... egy átalakított kuktában. Davies, Goldhoz hasonlóan meg van győződve arról, hogy az élet a Föld mélységeiből eredhetett, és hogy a ma is ott élő baktériumok viszonylag változatlan relikviái lehetnek távoli őseinknek. Ez az elképzelés különösen vonzó zarándoklatunk számára, mivel azzal a reménnyel kecsegtet, hogy esetleg a legkorábbi baktériumokkal, és nem a számunkra ismerősebbekkel, a fény, a hideg és az oxigén mai feltételeihez alkalmazkodottakkal találkozunk. Miután kiállta azt, hogy kezdetben a nevetség tárgya volt, az élet eredetének forró, mély kőzetben gyökerező elmélete ma már kifejezetten a divatosság határát súrolja. Ahhoz, hogy igaznak bizonyuljon, további kutatásra kell várnia, de bevallom, reménykedem abban, hogy igaznak bizonyuljon.

Számos elméletet nem érintettem. Talán egy napon valami végleges megegyezésre jutunk az élet eredetéről. Ha így lesz, kétlem, hogy közvetlen bizonyíték támasztja majd alá, mivel alighanem azok mind kitörlődtek. Talán inkább azért fogadják el, mert valaki olyannyira elegáns elmélettel áll elő, miként azt a nagy amerikai fizikus, John Archibald Wheeler más összefüggésben megjegyezte:

> ...oly egyszerűen, gyönyörűen és kihívóan ragadjuk meg a központi gondolatát az egésznek, hogy csak azt hajtogatjuk majd egymásnak: „Hogy is lehetne másképpen? Hogyan lehettünk ilyen sokáig vakok?"

Ha végül nem így döbbenünk rá arra, hogy ismerjük a választ az élet eredetének rejtvényére, akkor kétlem, hogy valaha is megismerjük.

A FOGADÓS HAZATÉR

A nyájas fogadós, amint elkísérte Chaucert és a többi zarándokot Londonból Canterburybe, és betöltötte impresszáriói szerepét a meséikhez, megfordult, és egyenesen visszavezette őket Londonba. Ha én most visszatérek a jelenbe, azt egyedül kell tennem, mivel ha azt várnánk az evolúciótól, hogy kétszer tegye meg ugyanazt az előrevezető utat, ez ellentmondana fordított utazásunk logikájának. Az evolúció soha nem tűzött ki magának valamilyen meghatározott végcélt. Visszafelé vezető zarándoklatunk egy sor halmozódó összeolvadásból állt, amint egyre átfogóbb csoportokat kebeleztünk be: az emberszabásúakat, a főemlősöket, az emlősöket, a gerinceseket, az újszájúakat, az állatokat és így tovább vissza egész az élet ős-őséhez. Ha visszafordulunk és most előrefelé haladunk, nem tudjuk követni lépteinek nyomát. Ezzel azt feltételeznénk, hogy az evolúció, ha visszatérne, ugyanazt a csapást követné, és ugyanazokat az összeolvadásokat most szétszakadások formájában hátramenetbe kapcsolva tenné meg. Az élet folyama mindenütt a „megfelelő" helyeken ágazna el. Újra felfedeznék a fotoszintézist és az oxigénre épülő anyagcserét, az eukarióta sejt újraalkotná önmagát, a sejtek új metazoa testekben verődnének ismét össze. Új szakadásra kerülne sor egyfelől a növények, másfelől az állatok és a gombák között, új szakadásra az ősszájúak és az újszájúak között; és ismét feltalálnák a hátgerincet, akárcsak a szemet, a fület, a végtagokat, az idegrendszert... Végül egy duzzadt agyú kétlábú bukkanna föl, messze tekintő szemei által vezérlet ügyes kezekkel, s az egész folyamat az ausztrálokat legyőző, közmondásos krikettcsapatban csúcsosodna ki.

Eredeti döntésem mögött, hogy a történelmet hátrafelé követem, a célzott evolúció elutasítása húzódik meg. És mégis, kezdősoraimban megvallottam a rímek iránti fogékonyságomat, ami óvatos flörtölésre vezetett engem a visszatérő mintákkal, a törvényszerűséggel és az evolúció előreirányultságával. Bár fogadósi visszatérésem nem lépésről lépésre történik, nyilvánosan el fogok töprengeni azon, nem lehetséges-e valami olyasmi, ami az azonos nyomon való visszatérésre hasonlít.

Rohanó evolúció

Stuart Kauffman, amerikai elméleti biológus már egy 1985-ös cikkében feltette a kérdést:

> Annak egyik módja, hogy kihangsúlyozzuk jelenlegi tudatlanságunkat, az, ha megkérdezzük, hogy ha az evolúció a prekambriumtól kezdve, amikor a korai eukarióta sejtek már kialakultak, megismétlődne, milyenek lennének egy-két milliárd év múlva az orga-

nizmusok. És ha a kísérletet számtalanszor megismételnénk, vajon az organizmusok mely tulajdonságai jelennének meg ismétlődően, mely tulajdonságok lennének ritkák, mely tulajdonságok bukkannának fel könnyen az evolúció során, melyek nehezen? Az evolúcióról való gondolkodásunk központi fogyatékossága az, hogy nem vezet bennünket efféle kérdések feltételére, jóllehet a válaszok valóban mélyreható betekintést eredményeznének az organizmusok várható tulajdonságaiba.

Különösen kedvelem Kauffman statisztikai fenntartásait. A konkrét életformák helyi megnyilvánulásaival szemben az élet általános törvényeit keresi, és eközben nem csupán egy gondolatkísérletet, hanem gondolatkísérletek statisztikai mintáit veszi figyelembe. Kauffman kérdése rokon azzal a tudományos fantasztikus kérdéssel, hogy milyen lehet az élet más bolygókon – eltekintve attól, hogy más bolygókon a kezdeti és az uralkodó feltételek mások lennének. Egy óriásbolygón a gravitáció teljesen új szelekciós nyomást teremtene. A pókméretű állatoknak nem lehetnének póklábaik (eltörnének saját súlyuktól), hanem vaskos, függőleges oszlopok támaszára szorulnánk, azokhoz a fatörzsekhez hasonlóan, amelyeken elefántjaink állnak. Másfelől, egy kisebb bolygón az elefántméretű, de pókfonál felépítésű állatok úgy szednék a lábaikat és szökellnének a felszínen, mint az ugrópókok. A testalkattal kapcsolatos ezen elvárások éppúgy vonatkoznak a nagy gravitációjú világ teljes statisztikai mintájára, mint a kis gravitációjúéra.

A gravitáció valamely bolygó olyan adottsága, amelyet az élet nem befolyásolhat. Ugyanilyen a bolygónak a központi csillagtól való távolsága. Ugyanilyen a bolygó forgási sebessége, amely meghatározza a nappalok hosszát. Ugyanilyen a tengely dőlésszöge, amely – egy, a miénkhez hasonlóan csaknem kör alakú pálya esetében – az évszakok fő meghatározója. A hold vagy holdak megléte, távolsága, tömege és pályája az árapályon keresztül finom, de erőteljes hatást gyakorol az életre. Mindezen tényezők az élet által megváltoztathatatlan adottságok, ezért állandóként kezelendők a kauffmani gondolatkísérletek egymást követő lefuttatásakor.

A tudósok korábbi nemzedékei az időjárást és a légkör kémiai összetételét is állandóként kezelték volna. Ma már tudjuk, hogy a légkört, különösen annak magas oxigén- és alacsony széntartalmát az élet szabályozza. Így gondolatkísérletünkben fenn kell tartanunk annak lehetőségét, hogy az evolúció egymást követő újrafuttatása során a légkör a kialakuló életformák hatására változhat. Az élet tehát befolyásolja az időjárást, sőt az olyan jelentős éghajlati eseményeket is, mint a jégkorszakok vagy az aszályok.*

Amennyire tudjuk, a Föld legbelső működésére nem gyakorol hatást a felszínén lévő élethab. Ám az evolúciót újrafuttató gondolatkísérletekben meg kell engedni, hogy a tektonikus események, így a kontinensek elhelyezkedésének története is esetleg eltérően zajlik le. Érdekes kérdés, hogy a vulkanikus tevékenység és a földrengések epizódjait, illetve a külső térből jövő becsapódásokat állandónak kell-e vennünk az egymást követő kauffmani újrajátszások során. Talán bölcs dolog, ha a tektonikus mozgásokat és az égi összeütközéseket fontos állandóként kezeljük, amit átlagolni lehet, ha az újrafuttatások kellően nagy statisztikai mintájával számolunk.

Hogyan is fogjunk Kauffman kérdésének megválaszolásához? Milyen lenne az élet, ha a „szalagot" statisztikai számú alkalommal újrajátszanánk? A kauffmani kérdések egyre nehezedő nehézségi fokú egész családjára döbbennénk rá azonnal. Kauffman arra a pillanatra állította vissza az órát, amikor az eukarióta sejt az

* Néhai kollégám, W. D. Hamilton, akinek túl sokszor is igaza volt ahhoz, hogy kinevessék, vetette föl, hogy maguk a felhők és az eső is olyan adaptációk, amelyeket a mikroorganizmusok saját elterjesztésük érdekében állítottak elő.

összetevőiből összeállt. Ám a folyamat újraindítását két-három eonnal korábban, sőt magával az élet eredetével is el tudjuk képzelni. Vagy másik végletként jóval később is indíthatjuk az órát, mondjuk az 1. köz-ősnél, a csimpánzoktól való elválásunknál, és feltehetnénk a kérdést, hogy a hominidák, statisztikailag mérvadó számú újrajátszás után, feltéve, hogy az élet eltart az 1. köz-ősig, vajon kifejlesztenék-e a két lábon járást, az agy megnagyobbodását, a nyelvet, a civilizációt és a baseballt? Közben pedig fennáll Kauffman kérdése az emlősök vagy a gerincesek eredetére, vagy tetszőleges számú egyéb felvetésre vonatkozóan.

Eltekintve a tiszta spekulációtól: vajon az élet valóságos története biztosít-e útmutató gyanánt valami olyasmit, ami megközelít egy természetes kauffmani kísérletet? Igen, biztosít. Zarándoklatunk során számos természetes kísérlettel találkoztunk. A hosszú földrajzi elszigetelődés szerencsés véletlenének köszönhetően Ausztrália, Új-Zéland, Madagaszkár, Dél-Amerika, sőt Afrika is ellát bennünket az evolúció fő epizódjainak megközelítő újrajátszásaival.

Ezek a szárazföldek a dinoszauruszok eltűnését követő időszak jelentős szakaszaiban szigetelődtek el egymástól és a világ többi részétől, éppen akkor, amikor az emlősök csoportjának evolúciós eseményeinek zöme lezajlott. Az elszigeteltség nem volt teljes, de ahhoz elegendőnek bizonyult, hogy Madagaszkáron kinevelje a makikat, Afrikában pedig az ősi és sokféle Afrotheria-fajokat. Dél-Amerika esetében az emlősök három, egymástól hosszú elszigetelődésekkel elválasztott időszakban vetették meg a lábukat. Ausztrálinea biztosítja a legtökéletesebb körülményeket az efféle természetes kísérlethez – elszigeteltsége, amely nagyon kis adag és talán egyszeri erszényes beoltással kezdődött, a szóban forgó időszak nagy részében csaknem teljes volt. Új-Zéland kivételes, mivel – e sokat elárulo természetes kísérletek közül egyedüliként – a szóban forgó időszakban emlősök nélkül találta magát.

Amint elnézem ezeket a természetes kísérleteket, többnyire lenyűgöz, milyen hasonlónak bizonyul az evolúció, ha lehetősége van a kétszeri lefutásra. Láttuk, mennyire hasonlít a *Thylacinus* a kutyára, a *Notoryctes* a vakondra, a *Petaurus* a repülőmókusra, a *Thylacosmilus* a kardfogú tigrisre (és a méhlepényes húsevők különböző „álkardfogú tigriseire"). Az eltérések is sok mindenről árulkodnak. A kenguruk ugráló antiloppótlékok. Az evolúciós fejlődési vonal végére tökéletessé vált kétlábú ugrálás éppoly impozánsan gyors lehet, mint a négylábú galoppozás. Ám a két járásmód oly gyökeresen eltér egymástól, hogy jelentős változásokat vontak maguk után az egész anatómiában is. Valamely ősi útelágazásnál feltehetően a két „kísérleti" ágazat bármelyike követhette volna a kétlábas ugrálás tökéletesítésének útját, vagy a négylábú galoppozásban juthatott volna tökélyre. Történetesen – feltehetően eredetileg véletlen okoknál fogva – a kenguruk elugráltak az egyik úton, az antilopok pedig elgaloppoztak a másikon. Mi pedig elcsodálkozunk a két végeredmény közötti eltéréseken. A különböző szárazföldeken az emlősök egymással csaknem egy időben estek át elérő evolúciós kirajzásaikon. Ezt a dinoszauruszok által teremtett vákuum tette lehetővé. Ám a maguk idejében a dinoszauruszoknak hasonló kirajzásaik voltak, bár egyetlen nevezetes kivétel azért akad – soha nem találtam választ arra a kérdésemre, a jelek szerint miért nem volt dinoszaurusz „vakondok". A dinoszauruszok előtt pedig ismét más, sokszoros párhuzamok voltak, nevezetesen az emlősszerű hüllők között, amelyek ugyancsak hasonló típusokban értek tetőpontjukra.

Amikor nyilvános előadást tartok, a végén mindig megpróbálom megválaszolni a kérdéseket. Messze a leggyakoribb kérdés a következő: „Legközelebb mivé fejlődhet az ember?" Megható, hogy beszélgetőtársam szemében kérdése frissnek és eredetinek tűnik, és minden alkalommal összeszorul a szívem. Mert olyan kérdés ez, amely elől minden józan evolucionista kitér. Attól eltekintve, hogy statisztikailag a fajok túlnyomó többsége kihalt, részleteiben egyetlen faj evolúciós jövőjét sem lehet megjósolni. Jóllehet nem tudjuk megjósolni egyetlen faj jövőjét sem, mondjuk 20 millió évnyire előre, a majdan jelen lévő ökológiai típusok általános megoszlását azért képesek vagyunk előrevetíteni. Lesznek növényevők és ragadozók, legelészők és lombevők, húsevők, halevők és rovarevők. Ez az étrendi előrejelzés előfeltételezi, hogy 20 millió év múlva is lesznek a fogalomnak megfelelő táplálékok. A lombevők előfeltételezik a fák további jelenlétét. A rovarevők előfeltételezik a rovarokat vagy más kis termetű, lábas gerinctelenéket – a dudukat, hogy ezzel a hasznos afrikai műszóval éljünk. Minden kategórián – növényevőkön, ragadozókon és így tovább – belül lesznek eltérő méretűek. Lesznek aztán futók, repülők, úszók, mászók és ásók. A fajok nem lesznek pontosan ugyanazok, mint a ma láthatók, vagy nem lesznek az Ausztráliában vagy Dél-Amerikában kialakultak párhuzamai, mint ahogy a dinoszaurusz vagy az emlősszerű hüllő megfelelőiké sem. Viszont lesznek hasonló típusok, amelyek hasonló módokon gondoskodnak a megélhetésükről.

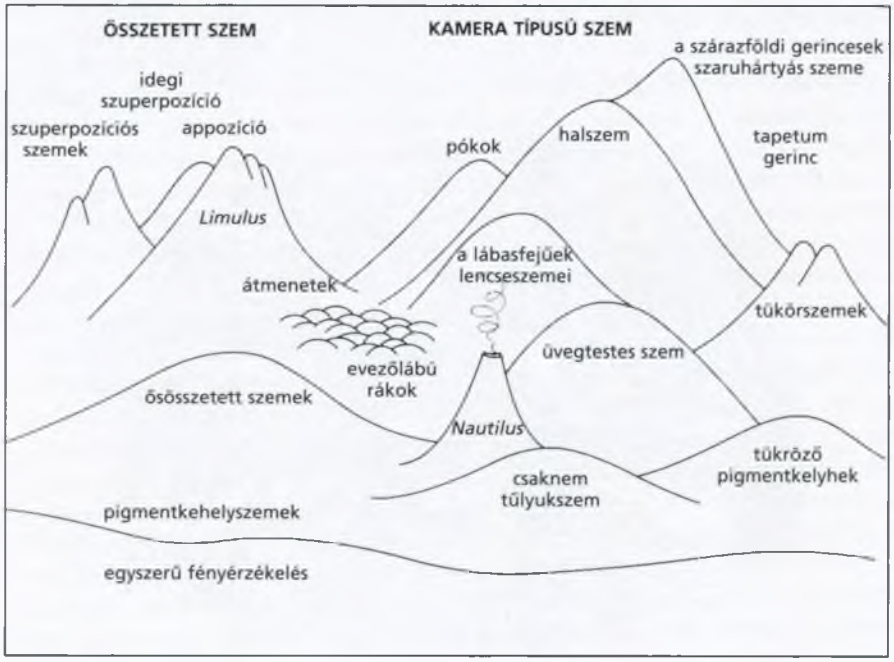
Ha az elkövetkező 20 millió év során jelentős katasztrófa és a dinoszauruszok pusztulásához hasonló tömeges kihalás következik be, akkor arra számíthatunk, hogy az ökotípusok sorozata egy új ősi kezdőpontból fog kiindulni, és – a 10. találkozáson a rágcsálókról elejtett eszmefuttatásom ellenére – elég nehéz lenne kitalálni, melyik mai állat biztosítja ezt a kezdőpontot. Az alábbi viktoriánus karikatúrán Ichthyosaurus professzort láthatjuk, amint egy emberi koponya fölött valami távoli múltat felidéző előadást tart. Ha a dinoszauruszok korában Ichthyosaurus professzor felvetette volna a katasztrofális véget, elég nehéz lett volna megjósolnia, hogy az akkoriban kicsi, jelentéktelen, éjszakai rovarevő emlősök utódai veszik át a helyüket.



Ichthyosaurus professzor Henry de la Beche „Iszonyú változások" című viktoriánus kori karikatúrája Charles Lyell *Principles of Geology* (A geológia alapelvei) című művében kifejtett nézetet figurázza ki. Lyell felvetette, hogy a Föld periodikus éghajlatváltozásai és az ezzel kapcsolatban az állatvilágban végbemenő változások egy olyan jövendő világhoz vezethetnek, amelyben ismét *Iguanodon* járja az erdőket, és újra *Ichthyosaurus*ok bukkannak fel a tengerekben.

Mindez nyilván a viszonylag közelmúltbeli evolúciót érinti, nem a Kauffman által elképzelt hosszú újrafuttatást. Ám ezek a legutóbbi újrajátszások is bizonnyal megtaníthatnak velünk néhány leckét az evolúció lényegi ismétlőképességéről. Ha a korai evolúció a későbbihez hasonló vonalakon futott, ezek leckéi általános alapelvekkel érhetnek föl. Úgy sejtem, hogy a dinoszauruszok kimúlása óta tartó, közelmúltbeli evolúció tanulságai érvényesek legalábbis a kambriumig, de az is lehet, hogy egész az eukarióta sejt eredetéig visszamenőleg. Fogadok, hogy az emlősök ausztráliai, madagaszkári, dél-amerikai, afrikai és ázsiai kirajzásai egyfajta sablont biztosítanak Kauffman kérdésének jóval régebbi kiindulópontjaival kapcsolatban is, így akár az eukarióta sejt eredetében általa választott kiindulópontra is. Az ennél korábbi mérföldkő-eseményre vonatkozó magabiztosság elpárolog. Kollégám, Mark Ridley a *Mendel démona* című művében úgy sejti, hogy az eukarióta összetettség eredete roppant valószínűtlen esemény volt, talán még magánál az élet eredeténél is valószínűtlenebb. Ridley hatására az a gyanúm, hogy az élet eredetével kezdődő legtöbb újrafuttatási gondolatkísérlet nem jut el az eukariótaságig.

A konvergencia tanulmányozásához nem kell rászorulnunk olyan földrajzi elszigetelődésre, mint az ausztráliai természetes kísérlet esetében. Elgondolhatjuk úgy is az evolúció újrafuttatási kísérletet, mint amely nem különböző földrajzi színhelyeken lévő azonos, hanem különböző kiindulópontokból indul – nagy valószínűséggel ugyanazon a földrajzi színtéren: egymástól olyannyira eltérő állatoknál lévő konvergenciáról van szó, hogy amit tőlük megtudunk, annak semmi köze a földrajzi elszigetelődéshez. A szem becslések szerint 40–60 alkalommal fejlődött ki egymástól függetlenül az állatvilágban. Ez ihlette *A Valószínűtlenség hegyének meghódítása* című könyvemnek „A megvilágosodás negyven útja" fejezetét, úgyhogy itt nem fogom magamat ismételni, eltekintve annak megemlítésétől, hogy a Sussex



A MEGVILÁGOSODÁS NEGYVEN ÚTJA
A szem evolúciójának tájképe Michael Land professzor szerint

Egyetemen dolgozó Michael Land professzor, a szemek összehasonlító zoológiájának vezető szaktekintélye, az optikai mechanizmusok kilenc független elvét ismeri el, amelyek mindegyike többször is kialakult. Volt olyan kedves, hogy említett könyvem kedvéért elkészítette az itt újra közölt tájképet, amelyen az egyes hegycsúcsok a szemek egymástól független evolúcióit jelentik.

Úgy tűnik, hogy az élet, legalábbis ezen a bolygón ismert formájában csaknem szemérmetlenül mohó a szemek kifejlesztésében. Magabiztosan megjósolhatjuk, hogy Kauffman újrajátszásainak statisztikai mintája szemekben végződne. És nem csupán szemekben, hanem összetett szemekben, mint amilyen egy rovarnak, egy garnélaráknak vagy egy trilobitának van, és kameraszemekben, olyanokban, mint a miénk, vagy a tintahalé, színes látással és a fókuszt meg a lencsenyílást beállító, finomhangoló mechanikával. Vagy ugyancsak nagy valószínűséggel a tapadókagylóéhoz hasonló parabolatükör-szemekben, vagy a *Nautilus*nak, ennek 26. találkozáson megismert, csavart héjában a vízben levegő, mai ammonitaszerű puhatestűnek a szeméhez hasonló tűhegynyi szemekben. És ha van élet más bolygókon is a Világegyetemben, jól tippelünk, ha azt mondjuk, ott is vannak az ezen a bolygón megismert optikai elvekre épülő szemek. Csupán ennyi módja van a szemkészítésnek, és az élet, ahogy ismerjük, bizonyára mindegyikre rátalált.



Csaknem szemérmetlen mohóság a szemek kifejlesztésében
Néhány példa a szemre. A bal felsőtől az óramutató járásával megegyező irányba indulva: *Nautilus pompilius* (tűhegyszem); *fosszilis trilobita* (Phacops, kalcitlencsékből álló összetett szem – melyek némelyike pozicionálva látható a szem felső részén); feketelégy (*Simulium damnosum*, összetett szem); zöld papagájhal (*Sparisoma viride*, halszem); nagy fülesbagoly (*Bubo virigianus*, szaruhártyás szem)

Más adaptációkkal kapcsolatban is elvégezhetjük ugyanezt a számolást. Az echolokáció – vagyis a kibocsátott hanghullámok és a visszaverődő hangok mérésével végzett navigációnak a trükkje – legalább négyszer kifejlődött: a denevérekben, a fogas cetekben, az olajmadarakban és a kis kazári fecskékben. Nem annyiszor ugyan, mint a szem, de ahhoz mégis elég gyakran, hogy ne tartsuk túl valószínűtlennek, hogy kialakuljon, ha a körülmények megfelelőek. Az is nagyon valószínű, hogy az evolúció visszatérései ugyanazokat a speciális alapelveket, a nehézségekkel való szembenézés ugyanazon trükkjeit fedeznék fel újra. Ismét csak nem ismétlem meg egy korábbi könyvem* eszmefuttatásait, csupán összegzem, mit várhatunk az evolúció újrafuttatásaitól. A részleteknek az alacsony hangfekvésűnél jobb felbontása miatt az igen magas hangfekvésű kiáltásokkal működő echolokációnak kell ismétlődően kialakulnia. A kiáltások legalábbis bizonyos fajok esetében valószínűleg frekvenciamoduláltak, vagyis minden egyes kiáltáskor fel-le csúszkál a hangmagasság (a pontosság javított, mivel minden visszhang korai része hangmagassága révén különböztethető meg a későbbi részektől). A visszhangok elemzésére használt számítási apparátus nagyon is végezhet (tudattalanul) a visszhangok frekvenciájának Doppler-eltolódására épülő számításokat, mivel a Doppler-effektus nyilván egyetemesen jelen van bármelyik bolygón, ahol van hang. A denevérek kifinomultan alkalmazzák mindezt.

* Ez esetben *A vak órásmesterét*.

Honnan tudjuk, hogy a szemhez vagy az echolokációhoz hasonló dolgok egymástól függetlenül alakultak ki? A családfa tanulmányozásából. Az olajmadarak vagy a kazári fecskék rokonai nem alkalmaznak echolokációt. Az olajmadarak és a barlangi kazári fecskék külön-külön tértek át a barlangi életre. Onnan tudjuk, hogy a denevérektől és a cetektől függetlenül fejlesztették ki a technológiát, mert a családfán a környezetükben senki más nem tette ezt. A denevérek különböző csoportjai esetleg egymástól függetlenül többször is kialakíthatták. Azt viszont nem tudjuk, ezen kívül még hány alkalommal alakult ki az echolokáció. Némely cickány és cet is rendelkezik valamilyen kezdetleges formájával (és néhány vak ember is megtanulta). Vajon a *Pterodactylus*ok is művelték? Mivel az éjszakai repülés jó megélhetést biztosít, és mivel akkoriban nem léteztek denevérek, nem elképzelhetetlen. Ugyanez érvényes az *Ichthyosaurus*okra, amelyek nagyon hasonlítottak a delfinekre, és feltehetően hasonló életmódot is folytattak. Mivel a delfinek alaposan kihasználják az echolokációt, joggal töprengünk el azon, hogy a delfinek kora előtt netán az *Ichthyosaurus* nem tett-e így. Közvetlen bizonyítékunk nincs, így meg kell őrizni nyitottságunkat. Egy ellenérv: az *Ichthyosaurus*nak rendkívül nagy szemei voltak – ez egyik legfeltűnőbb vonásuk –, ami arra utal, hogy inkább a látásra hagyatkoztak, semmint az echolokációra. A delfineknek viszonylag kicsik a szemei, és az *ő* egyik legszembetűnőbb vonásuk az az akusztikus „lencseként" szolgáló, a csőrük fölött elhelyezkedő, lekerekített púp, vagy „dinnye", amely egy keskeny pászmába szűkíti le a hangot, amit az állat zseblámpafényként vetít maga elé.

A zoológusok szokása szerint magam is feltúrhatom az állatvilágról elmémben összegyűlt adatbázisomat, és előállhatok valamiféle becsült válasszal az afféle kérdésekre, hogy: „Hányszor alakult ki X függetlenül?" Jó kutatási programot kínálna egy rendszeresebb számlálás elvégzése. Feltehetően némely X-ekkel kapcsolatban a „sokszor" volna a válasz, akár a szemnél, vagy a „többször", mint az echolokációnál. Másoknál viszont az „egyszer" vagy a „soha", bár meg kell mondanom, ezekre

példát találni meglepően nehéz. A különbségek érdekesek lehetnének. Azt gyanítom, találnánk olyan lehetséges evolúciós útvonalakat, amelyeket az élet „mohón" jár be. Más útvonalaknak magasabb az „ellenállása". *A Valószínűtlenség hegyének meghódítása* című könyvemben alakítottam ki minden élet hatalmas múzeumának analógiáját, mind a valóságosét, mind az elgondolhatóét, amelyben folyosók futnak a megint csak valóságos és elgondolható evolúciós változásoknak egyaránt megfelelő sokféle dimenzióban. E folyosók némelyike széles, csaknem hívogatóan az. Másokat nehezen vagy egyáltalán nem leküzdhető akadályok torlaszoltak el. Az evolúció ismételten lerobog a könnyű folyosókon, és csak alkalmanként és váratlanul ugrik át egyet-egyet a nehéz akadályok közül. Majd még visszatérek a „mohón" vagy „vonakodva" fejlődés eszméihez, amikor a „fejlődőképesség evolúcióját" taglalom.

Most fussunk át gyorsan még néhány olyan példán, amelyeknél érdemes lenne rendszeresen megszámolni, hány alkalommal alakult ki X. A mérgező fullánk (méregnek a bőrön át egy hegyes végű csövön át történő befecskendezése) legalább tízszer alakult ki függetlenül: a medúzáknál és rokonaiknál, a pókoknál, a skorpióknál, a százlábúaknál, a rovaroknál,* a kagylóknál (kúpos kagylók), a kígyóknál, a cápák csoportjánál (tüskéscápák), a csontos halaknál (kőhal), az emlősöknél (hím kacsacsőrű emlős) és a növényeknél (csípős csalán). Le merném fogadni, hogy a méreg, beleértve a bőr alá történő befecskendezést is, újra meg újra kialakulna egy újrajátszás során.

* A méhek, a darazsak és a hangyák fullánkja módosult peterakó cső, és csak a nőstények szúrnak.

A szociális célú hangképzés függetlenül fejlődött ki a madarakban, emlősökben, tücskökben és szöcskékben, kabócákban, halakban és békákban. Az elektrolokáció, vagyis a gyenge elektromos mezők navigációs célú használata többször is kialakult, amint *A kacsacsőrű emlős meséjében* láttuk. Csakúgy, mint az elektromos áram fegyverként történő – talán ezt követő – használata is. Az elektromosság fizikája ugyanaz az egész világon, és meglehetős magabiztossággal fogadhatnánk olyan lények ismételt kialakulására, amelyek mind navigációs, mind támadói célokra kiaknázzák az elektromosságot.

A szárnyaló repülés, szemben a passzív siklással vagy ejtőernyőzéssel, a jelek szerint négyszer alakult ki: a rovarok, a pterosaurusok, a denevérek és a madarak esetében. Az ejtőernyőzés vagy a különböző fajta siklás számos alkalommal, talán több százszor is kialakult, és talán az igazi repülés evolúciós előfutára lehetett. A példák közé tartoznak a gyíkok, a békák, a kígyók, a „repülő" halak, a tintahalak, a kolugók, az erszényesek és a rágcsálók (kétszer). Sok pénzt tennék arra, hogy a kauffmani visszatérésekben a siklórepülés felbukkanna, és jelentős összeget arra is, hogy a valódi szárnyaló repülők is megjelennének.

Még a lökhajtás is kialakulhatott kétszer. A lábasfejű puhatestűek is ezt gyakorolják, méghozzá a tintahalak esetében nagy sebességgel. A másik példa, amelyik eszembe jut, ugyancsak puhatestű, de ez nem nagy sebességű. A fésűskagylók jórészt a tengerfenéken élnek, de alkalmanként úsznak is. Ritmikusan nyitják és zárják két héjukat, mint egy csapkodó kasztanyettapár. Úgy gondolhatnák (velem együtt), hogy ez „hátrafelé" hajtaná őket, a csapkodás irányával ellentétesen. Valójában viszont „előre mozognak", mintha beharapnák maguk előtt a vizet. Hogyan lehetséges ez? A válasz az, hogy a csapkodó mozgás a vizet átpréseli egy pár, a záróizom mögötti nyíláson. A hatás annyira ellentétes az elvárásokkal, hogy az már-már komikus.

És mi a helyzet azokkal a dolgokkal, amelyek csak egyszer vagy egyszer sem alakultak ki? Mint azt *A* Rhizobium *meséjé*ből megtudtuk, a valódi szabadon futó csapággyal ellátott kerék a jelek szerint csak egyszer, a baktériumokban alakult ki, mielőtt végül az emberi technológia feltalálta. Láthatólag a nyelv is csak bennünk alakult ki: azt is mondhatnánk, hogy negyvenszer ritkábban, mint a szem. Meglepő, milyen nehéz elgondolni olyan „jó ötleteket", amelyek csak egyszer fejlődtek ki.

A feladatot oxfordi kollégámra, a rovar- és természettudós George McGavinre testáltam, aki előállt egy derék listával, amely azonban így is rövid azon dolgok listájához képest, amelyek többször is kialakultak. A *Brachinus* nembe tartozó pöfögő futrinka egyedülálló dr. McGavin praxisában abban a tekintetben, hogy vegyületek elegyítésével kelt robbanást. Az összetevőket külön mirigyek (nyilván!) termelik és raktározzák. Amikor veszély fenyeget, ezek egy, a bogár hátsó fele közelében lévő kamrába fecskendeződnek, ott felrobbannak, ami kártékony (maró és tűzforró) folyadékot présel ki egy, az ellenségre irányított fúvókán. A példa jól ismert a teremtéshívők előtt, akik imádják. Úgy vélik, ez magától értetődően nem alakulhat ki fokozatosan, hiszen az átmeneti fokozatok mind felrobbannának.*

McGavin listáján a következő a Toxotidae családba tartozó lövőhal, amely egyedülálló abban, hogy bizonyos távolságból lövedékkel lövi le a zsákmányt. A víz felszínére jön, és egy pofányi vízsugarat lövell a becserkészett rovarra, az belepotyog a vízbe, ahol a hal megeszi. A „lelökő" ragadozó cím másik lehetséges jelöltje a hangyaleső lehet. A hangyalesők a Neuroptera rendbe tartozó rovarok lárvái. Mint oly sok lárva, semmiben sem hasonlítanak a felnőttre. Hatalmas csáprágóikkal kiváló szereplői lennének egy horrorfilmnek. Minden hangyaleső a homokban, közvetlenül a felszín alatt, egy általa ásott kúp alakú gödör fenekén áll lesben. Úgy ás, hogy nagy hévvel kiszórja a homokot középről, miáltal miniatűr földcsuszamlást idéz elő a gödör oldalán, a többit pedig elvégzik a fizikai törvények, amelyek szépen kialakítják a kúpot. A zsákmány, amely rendszerint hangya, beleesik a gödörbe, és annak meredek oldalán egyenesen a hangyaleső csáprágói közé csúszik. A lövőhallal való esetleges hasonlóságot az teremti, hogy a zsákmány nemcsak tehetetlenül leesik, hanem olykor homokszemcsék taszítják le. Ezeket azonban nem a lövőhal két lencsével fókuszált szemeinek halálos pontossággal vezérelt köpetének pontosságával célozzák meg.

A Scytodidae családba tartozó csupaszpókok megint csak mások egy kissé. Minthogy nem bírnak sem a farkaspók gyorsaságával, sem a szövőpókok hálójával, mérgező ragacsot fecskendeznek előre a zsákmányra, amely a földhöz cövekeli, míg a pók oda nem ér, hogy halálra marja. Ez a módszer eltér a lövőhal zsákmányt letaszító technikájától. Más állatok, így például a méregköpő kobrák védekezésül, és nem zsákmányszerzés céljából köpnek. A bolaspók, a *Mastophora,* megint csak eltérő, és talán ugyancsak egyedi eset. Mondhatnánk, hogy lövedéket lő ki a zsákmányra (amely általában éjjeli pille, amelyet a nőstény pillének a pók által szintetizált hamis szexuális szaganyaga csábít). Ám a lövedék, egy pókfonálpaca, amely egy pókfonálra van erősítve, amit a pók lasszóként (ún. bolaként) körbekerít, majd felteker.**

McGavin következő evolúciós egykejelöltje valóságos szépség: a búvárharangpókról, az *Argyroneta aquaticá*ról van szó. Ez a pók teljesen a víz alatt él és vadászik, de a delfinekhez, a dugongokhoz, a teknősökhöz, az édesvízi csigákhoz és egyéb, a

* Élvezettel igazoltam ennek az érvelésnek a hibáját a BBC által 1990-ben közvetített Royal Institution Karácsonyi Előadások Gyermekeknek sorozatában. Fejembe egy második világháborús sisakot nyomva és felszólítván a hallgatóság gyengébb idegzetű tagjait a távozásra, hidrokinont és hidrogénperoxidot, a pöfögő futrinka robbanásának két alkotóelemét elegyítettem. Semmi sem történt. Még csak nem is melegedett föl. A robbanáshoz katalizátor kell. Fokozatosan emeltem a katalizátor töménységét, amely a kielégítő tetőpont eléréséig állandóan fokozta a forrongó sustorgást. A természetben a bogár biztosítja a katalizátort, és nem okozhatott neki nehézséget, hogy evolúciós idő alatt fokozatosan és biztonságosan növelje az adagolást.

** Mondhatjuk, hogy a kaméleonok is lövedéket lőnek a zsákmányra. A lövedék nem más, mint nyelvük súlyos megvastagodása, míg a nyelv (jóval vékonyabb) többi része kissé arra a kötélre emlékeztet, amellyel a szigonyt bevonják. A nyelvcsúcs gyakorlatilag lövedék, vagyis szabadon lendül előre, nem úgy, mint a mi nyelvcsúcsunk. A kaméleonok azonban nem egyediek ebben a tekintetben. Némely szalamandra a nyelve végét ugyancsak lövedékszerűen lövelli ki a zsákmányra, és lövedékeik a csontvázuk részét képezik (nem úgy a kaméleonoké). Úgy lövi ki, mint amikor dinnyemagot az ujjainkkal összepréselve elpöcköljük.

vízbe visszatért szárazföldi állatokhoz hasonlóan levegőt kell belélegeznie. Azonban az összes említett menekülttől eltérően az *Argyroneta* saját búvárharangot épít, amelyet pókfonálból sző (a pókfonál egyetemes megoldás minden pókproblémára), és egy víz alatti növényhez erősít. A pók levegőért felmerül a felszínre, amit ugyanúgy szállít, mint némely vízi bogár, vagyis a testszőrzet által alkotott rétegbe zárva. Ám a bogaraktól eltérően, amelyek a levegőt úgy cipelik magukkal mindenhová, mint egy búvárhengert, a pók a levegőt a búvárharangjába viszi, és ott kirakja, hogy pótolja a készleteit. A pók a búvárharangban ül, áldozatára várva, amit ha elkap, ott is raktároz és fogyaszt el.

Ám George McGavin példáinak egyke bajnoka a *Tabanus* nevű afrikai bögöly. Afrikában azok a víztócsák, amelyekben a lárvák élnek és élelmet keresnek, megjósolhatóan végül kiszáradnak. Mindegyik lárva beássa magát az iszapba, és begubózik. A felnőtt légy kikel a megszikkadt iszapból, és szárnyra kel, hogy véren éljen, míg végül az esős évszak beköszöntével lerakja a petéit a víztócsákba, hogy teljessé tegye a körforgást. Az eltemetett lárva előre látható veszélynek van kitéve. Ahogy az iszap kiszárad, megrepedezik, és fennáll a veszélye, hogy a repedés áthalad a lárva rejtekhelyén is. Elvileg megvédhetné magát, ha valahogyan ki tudna találni valamiféle megoldást, ha el tudna téríteni minden közeledő repedést. Márpedig a lárva valóban ezt teszi, méghozzá valóban csodás és talán egyedülálló módon. Mielőtt eltemetné magát gubókamrájába, először spirális módon lefúrja magát az iszapba. Ezután ellentétes irányú spirálmeneten visszafúrja magát a felszínre, Végül egyenesen a két spiráljárat között lefúrja magát középen az iszapba, és ez lesz a nyugvóhelye a nehéz idők alatt, míg a víz vissza nem tér. No mármost, látjuk, miről is van itt szó? A lárva bezárja magát egy olyan iszaphengerbe, amelynek körkörös határát az előzetes spirális furkálással korábban meggyengítette. Ez azt jelenti, hogy amikor egy repedés átkígyózik a száradó iszapon, a hengeres oszlop pereméhez érve nem halad át rajta középen, hanem egy görbe kerülővel eltérül a henger szegélye mentén, és a lárva megmenekül. Olyan ez, mint a bélyeget szegélyező perforáció, amely meggátolja, hogy eltépjük a bélyeget. Dr. McGavin szerint ez az ötletes trükk szó szerint pártalan vonása ennek a bögölynemnek.*

* A szokást elsőként W. A. Lambourn írta le [165].

De vannak-e olyan jó ötletek, amelyek *soha* nem alakultak ki a természetes szelekció révén? Amennyire tudom, ezen a bolygón soha egyetlen állat sem fejlesztett ki a rádióhullámok továbbítására vagy fogadására a hosszú távú kommunikáció terén alkalmas szervet. Másik példa a tűzhasználat. Az emberek példája mutatja, mennyire hasznos lehet. Van néhány növény, amelynek csírázásához tűzre van szükség, de nem hiszem, hogy ez abban az értelemben minősül használatnak, ahogy mondjuk az elektromos angolna felhasználja az elektromosságot. Az acél felhasználása váz céljára újabb példája az emberi műtárgyak kivételével másutt soha nem kibontakoztatott jó ötleteknek. Tűz nélkül ezt feltehetően nehéz megvalósítani.

Az effajta összehasonlító gyakorlat, amikor a korábban vázolt földrajzi összehasonlítás mentén számba vesszük, mely dolgok alakultak ki gyakran, melyek ritkán, lehetővé teheti, hogy megjósoljunk a bolygónkon kívüli élettel kapcsolatos dolgokat éppúgy, mint azt, hogy kitaláljuk az evolúció újrafuttatásával kapcsolatos Kauffman-féle gondolatkísérletek valószínű kimenetelét. Kifejezetten számíthatunk szemekre, fülekre, szárnyakra és elektromos szervekre, de puffogóbogár-robbanásokra és lövőhalféle vízlövedékekre talán nem.

Azok a biológusok, akik, mondhatnánk, meggyőződésüket a néhai Stephen Jay Gouldtól veszik, az egész evolúciót, beleértve a kambrium utánit is, teljesen esetlegesnek – szerencsének tekintik, amely valószínűleg nem ismétlődne meg egy kauffmani újrafuttatásban. Gould függetlenül kifejlesztette Kauffman gondolatkísérletét, amit ő az „evolúciós szalag visszatekerésének" nevezett. Annak esélyét, hogy bármi akár távolról is hasonlítson az emberre egy második újrafuttatás során, elenyészően csekélynek tekintette, és ennek meggyőzően hangot is adott a *Csodálatos élet*ben. Ez az ortodoxia vezetett engem is az első fejezet óvatos, lemondó fegyelmezettségére, és ez vezetett valójában arra is, hogy vállalkozzam fordított zarándoklatomra, most pedig arra, hogy zarándokcsapatomat Canterburyben hagyjam, és egyedül térjek vissza. És mégis… már régóta töprengek azon, vajon az esetlegesség nagyszájú ortodoxiája esetleg nem ment-e túl messzire. Gould *Full House* (Egész ház) című művéről szóló ismertetőm (amit újra közöltem *Az Ördög káplánja*ban) védelmébe vette az evolúciós haladás népszerűtlen képzetét: nem az emberiség felé való haladását – Darwin őrizzen! –, hanem az olyan haladását, amely legalább annyira megjósolható, hogy igazolja a világot. Ahogy rögvest kifejtem, a szemhez hasonló összetett adaptációk összegződő felhalmozódása erősen a haladás egyfajta változatára utal – különösen amikor képzeletben összekapcsoljuk az összetartó (konvergens) evolúció egynémely csodás eredményével.

Ugyancsak az összetartó evolúció ösztönözte a cambridge-i geológust, Simon Conway Morrist, akinek kihívó könyve, a *Life's Solution: Inevitable Humans in a Lonely Universe* (Az élet megoldása: az emberek szükségszerűsége egy magányos Világegyetemben) Gould „esetlegességének" éppen az ellenkező felfogását képviseli. Conway Morris csaknem szó szerint gondolja könyve alcímét. Úgy véli, az evolúció újrafuttatása az ember második eljövetelével járna: vagy valami olyasmiével, ami igen közel áll az emberhez. Ilyen népszerűtlen tézisre építi kihívóan bátor álláspontját. Két tanúja rá a konvergencia és a kényszer.

A konvergenciával újra és újra találkoztunk ebben a könyvben, mint ahogy ebben a fejezetben is. Hasonló problémák hasonló megoldásokat hívnak életre nemcsak kétszer vagy háromszor, hanem sokszor, tucatszor. Azt hittem, kissé különc vagyok a konvergens evolúció iránti lelkesedésemben, de megtaláltam páromat Conway Morrisban, aki káprázatos példatárat vonultat fel, amelyek közül sokkal nem is találkoztam korábban. Ám míg én általában a hasonló szelekciós nyomással magyarázom a konvergenciát, addig Conway Morris hozzáteszi ehhez második tanújának, a kényszernek a vallomását. Az élet anyagai és az embrionális fejlődés folyamata egy bizonyos problémára csak korlátozott számú megoldást engedélyeznek. Bármely evolúciós kiindulópontot veszünk is tekintetbe, csupán korlátozott számú kiút kínálkozik. Ha Kauffman kísérletének két újrafuttatása hasonló szelekciós nyomásba ütközik, a fejlődési kényszerek megnövelik annak esélyét, hogy azonos eredményre jussanak.

Láthatjuk, hogy egy dörzsölt ügyvéd miként tudná felvonultatni ezt a két tanút azon merész hit védelmében, hogy az evolúció újrafuttatása nagy valószínűséggel két ügyes kézzel, előrenéző kameraszemekkel és egyéb emberi vonásokkal rendelkező, nagy agyú kétlábúba futna össze. Sajnos eddig bolygónkon csak egyszer került sor erre, de első alkalomnak, feltételezem, mindig lennie kell. Elismerem, hogy lenyűgözött Conway Morris párhuzamos gondolatmenete a rovarok evolúciójának megjósolhatóságáról.

A rovarok meghatározó vonásai közé a következők tartoznak: egy ízelt külső váz; összetett szemek; jellegzetes hatlábú járás, melynek során a hat közül három, egy háromszöget formázva (kettő egyik oldalon, egy a másikon) mindig érinti a földet, és így stabilan tartja az állatot; tracheáknak nevezett légcsövek, amelyek a test oldalán elhelyezkedő különleges nyílásokon (légnyílás) át vezetik az állat belsejébe a levegőt; és teljessé téve az evolúciós sajátosságok listáját, a méhekéhez hasonló, a közjóra épülő, összetett kolóniák ismételt (11 független alkalommal történő!) evolúciója. Valamennyi elég furcsa? Valamennyi egyke lenne az élet nagy lottójátékán? Ellenkezőleg! Valamennyi konvergens!

Példáit áttekintve Conway Morris kimutatja, hogy mindegyik sajátosság több alkalommal is kialakult valahol az állatvilágban, köztük több egymástól független alkalommal éppen a rovarok között. Ha a természet oly könnyűnek találja a rovarság alkatrészeinek külön-külön történő kialakítását, akkor nem annyira elképzelhetetlen, hogy az egész kollekció kétszer is összeálljon. Conway Morris meggyőződése arra a kísértésre tesz fogékonnyá, hogy fel kellene hagynunk az összetartó evolúció valamiféle színes ritkaságként való felfogásával, amelynek fel kell tűnnie, és el kell kápráztatnia bennünket, ha belébotlunk. Talán rá kellene térnünk arra, hogy normát lássunk benne, és a tőle eltérő kivételek adjanak alkalmat a meglepetésre. Például a valódi szintaktikus nyelv egyetlen faj sajátosságának tűnik – a miénkének. Lehet ez az egyik olyan dolog, amely egy újra kialakult kétlábúból hiányozna?

Nyitófejezetemben, *Az utólagos bölcsesség hiúságá*ban meghallgattam azokat a figyelmeztetéseket, hogy nehogy mintákat, ismétlődéseket és értelmet keressünk az evolúcióban, de hozzátettem, hogy mértékkel flörtölni fogok velük. *A fogadós hazatér* című fejezet alkalmat ad arra, hogy áttekintsük az evolúció egész folyamatát, és megnézzük, milyen mintákat vehetünk észre. Azt az eszmét, hogy az egész evolúció célja a *Homo sapiens* létrehozása volt, természetesen elvetettük, és visszavezető utunk során semmi olyat nem láttunk, ami ezt érvénytelenítené. Még Conway Morris is csak annyit állít, hogy a több lehetséges végkimenetel egyikeként – az egyebek közé a rovarok tartozhatnak – valami hozzánk *megközelítőleg* hasonló *fajtájú* lény ismételt felbukkanására számíthatnánk, ha az evolúciót újra és újra futtatnánk.

Értékmentes és értékterhelt haladás

Milyen egyéb mintákat és ismétlődéseket különböztetünk meg, ha áttekintjük hosszú zarándoklatunkat? Az evolúció progresszív? A haladásnak van legalább egy olyan ésszerű meghatározása, ami szerint emellett állnék. Ezt be kell mutatnom. Először is, a haladás megfogalmazható gyenge, minimalista értelemben, értékítélet nélkül: ilyen a múltból kiinduló tendenciák megjósolható folytatódása a jövőben. Egy gyermek növekedése abban az értelemben progresszív, hogy egy adott évben bármely folyamatot figyelünk is meg súlyban, magasságban vagy más mértékben, az folytatódni fog a következőben is. A haladás ezen gyenge meghatározásához nem fűződik értékítélet. A daganat növekedése pontosan ugyanebben a gyenge értelemben progresszív. Ugyanígy a daganat zsugorodása kezelése során. Akkor hát, mi *nem* lenne progresszív ebben a gyenge értelemben? Az esetleges céltalan hullámzás: a daganat egy kicsit növekszik, egy kicsit zsugorodik, majd sokat nő, egy kicsit zsugorodik, aztán nő egy kicsit és sokat zsugorodik és így tovább. A progresszív folyamat-

ban nincsenek visszafordulások: vagy ha vannak is, azokat túlszárnyalja és elnyomja a meghatározó irányba történő mozgás. Datált kövületek valamely sorozata esetében a haladás ebben az értéksemleges értelemben egyszerűen annyit jelentene, hogy bármilyen anatómiai folyamatot nézünk is a koraitól a köztes állapot felé, az a folyamat megmarad a köztesből a kései állapot felé tartva is.

Most pedig tisztáznom kell az értéksemleges és az értékterhelt haladás közti különbséget. A haladást gyenge értelemben pusztán értéksemlegesként határoztuk meg. Ám a legtöbben a haladást értékterheltnek gondolják. Az orvos egy daganatnak a kemoterápia hatására történő zsugorodásáról beszámolva elégedetten állapítja meg: „Haladást értünk el." Az orvosok többnyire nem jelentik be, miután jó néhány másodpercig tanulmányozták egy növekedő daganat röntgenképét, hogy a daganat haladást ért el, jóllehet simán megtehetnék. Ez értékterhelt lenne, de negatív értékkel terhes. A „haladó" az ember politikai vagy társadalmi ügyeiben általában olyan irányba tartó folyamatot jelent, amit a beszélő kívánatosnak tart. Az emberi történelmet áttekintve a következő folyamatokat tekintjük haladónak: a rabszolgaság eltörlése; a választójog kiszélesedése; a nemi és faji megkülönböztetés csökkenése; a betegségek és a szegénység csökkenése; a higiénia növekedése; a légkörszennyezés csökkenése; az oktatás terjedése. Meglehet, bizonyos politikai felfogású személy e folyamatok legalább némelyikét negatív értékkel terhesnek tekinti, és nosztalgikus vágyakozással mereng azokon a napokon, amikor a nőknek nem volt választójoguk, vagy nem engedték belépni őket a klub éttermébe. Ám a folyamat az elsőként meghatározott gyenge, minimalista, értéksemleges értelemben akkor is inkább progresszív. Haladó bizonyos értékrendszer szerint, még akkor is, ha az az értékrendszer nem a miénk.

Meglepő, hogy mindössze száz év telt csak el azóta, hogy a Wright testvéreknek elsőként sikerült egy, a levegőnél nehezebb, motor hajtotta géppel a levegőbe emelkedniük. A repülés története 1903 óta félreérthetetlenül haladó, méghozzá meghökkentő sebességgel. Mindössze 42 évvel később, 1945-ben Hans Guido Mutke a Luftwaffe pilótája egy Messerschmitt lökhajtásos harcigéppel átlépte a hangsebesség határát.* Mindössze újabb 24 év múlva az ember a Holdra lépett. Az, hogy mostanában nem járkálunk a Holdon, vagy hogy éppen most szüntették meg az egyetlen szuperszonikus utasszállító járatot, gazdasági megfontolások követelte ideiglenes visszalépések csupán egy kétségtelenül előrehaladó általános folyamatban. A repülők egyre gyorsabbak, és ugyanakkor egy sor egyéb módon is fejlődnek. E haladás nagy része nem egyezik meg mindenki értékrendjével – például azokéval, akik elég szerencsétlenek ahhoz, hogy egy légifolyosó alatt éljenek. Továbbá a repülésben elért haladás nagy részét a katonai igények mozgatják. Senki sem tagadná le azonban egy összefüggően kifejezhető értékkészlet létét, amelyet legalább néhány józan gondolkodású ember vall, és ami szerint még a vadászgépek, bombázók és irányított rakéták is fejlődtek a Wrighték óta eltelt évszázadban. Ugyanezt mondhatnánk el a közlekedés egyéb formáira, sőt a technológia egyéb területeire is, mindennél inkább ideértve a számítógépeket.

Meg kell ismételnem, hogy amikor ezt értékterhelt haladásnak nevezem, számunkra nem szükségszerűen pozitív előjelű értékekről beszélek. Miként megjegyeztem, az említett technológiai haladást javarészt katonai célok mozgatják, és azokhoz járul hozzá. Joggal vélhetjük úgy, hogy a világ jobb hely volt az efféle talál-

* Az amerikaiak dicséretes hazafisággal úgy tanítják, hogy az elsőbbséget Chuck Yeagernek adják 1947-ben.

mányok előtt. Ebben az értelemben a „haladás" negatív előjellel értékterhes. De akkor is értékterhelt egy fontos értelemben, amely túlmegy a haladásnak az általam eredetileg értékmentes, minimalista értelemben vett meghatározásán, miszerint haladó bármely a múltból a jövő felé tartó folyamat. A fegyverek fejlődése a kőtől a lándzsáig, a hosszúíjon, a flintán, a muskétán, a karabélyon, a gépfegyveren, az aknán, az atombombán és az egyre növekvő megatonnás hidrogénbombán át fejlődést képvisel *valaki* értékrendje szerint, még ha az nem is a miénk – különben az ezeket kitermelő kutatásra és fejlesztésre nem került volna sor.

Az evolúció nem csupán a gyenge, értékmentes értelemben árulkodik haladásról. Vannak a haladásnak olyan epizódjai, amelyek legalábbis néhány teljesen kézenfekvő értékrend alapján értékterheltnek tekinthetők. Mivel fegyverzetről beszélünk, itt a megfelelő pillanat annak megjegyzéséhez, hogy a legismertebb példák a ragadozók és zsákmányaik közti fegyverkezési versennyel kapcsolatosak.

A „fegyverkezési verseny" kifejezés első említése az *Oxford English Dictionary* szerint az 1937-es parlamenti naplóban fordul elő:

> Ez a Ház nem érthet egyet olyan politikával, amely valójában egyedül a nemzeti fegyverzetben keresi biztonságát, és fokozza a nemzetek között az elkerülhetetlenül háborúhoz vezető, végzetes fegyverkezési versenyt.

A *Daily Express* 1937-ben „Arms Race Worry" (Aggodalmak a fegyverkezési verseny miatt) címmel megjelenő írásában leszögezi: „Mindenki aggódik a fegyverkezési verseny miatt." Ez nem sokkal előzte meg a téma bekerülését az evolúciós biológiai irodalomba. Hugh Cott 1940-ben, miközben javában zajlott a második világháború, így ír klasszikus művében, az *Adaptive Coloration of Animals*ben (Az állatok adaptív színalkalmazása):

> Mielőtt leszögeznénk, hogy a szöcske vagy a lepke megtévesztő külleme szükségtelenül részletes, először meg kell bizonyosodnunk arról, milyen érzékelési és megkülönböztetési képességekkel bírnak a rovarok természetes ellenségei. Ennek elmulasztása azzal ér föl, mintha az ellenséges fegyverzet jellegének és hatékonyságának vizsgálata nélkül azt bizonygatnánk, hogy egy csatacirkáló fegyverzete túl nehéz, vagy fegyvereinek hatótávolsága túl nagy.* Az a helyzet, hogy a dzsungel őseredeti küzdelmeiben, éppúgy, mint a modern civilizált hadviselésben, hatalmas evolúciós fegyverkezési versenyt látunk – amelynek védelmi eredményei olyan megoldásokban jutnak kifejeződésre, mint a sebesség, az éberség, a páncélzat, a tüskésség, az áskáló életmód, az éjszakai életmód, a méregkiválasztás, a visszataszító íz, a környezetutánzó, a figyelmeztető és az utánzó színalkalmazás; míg a támadásra olyan választulajdonságokban, mint a sebesség, a meglepetés, a rajtaütés, a bájerő, a látványpontosság, a karmok, a fogak, a fullánkok, a méregfogak, az ellentétes rejtő- és megtévesztő szín. Éppúgy, ahogy az üldözöttnél az üldöző sebességére adott válaszként a támadó fegyverekre adott válaszként kifejlődött a nagyobb sebesség vagy a védekező fegyverzet, ugyanígy a rejtő megoldások tökéletesedésére válaszul megnőtt az észlelés ereje is.

* Tom Lehrer, minden idők talán legsziporkázóbb komikus dalszerzője a következő zenei utasítást adta az egyik zongoraszólamának utasításában: „Egy kicsit túl gyorsan."

Oxfordi kollégámmal, John Krebsszel az evolúciós fegyverkezés egész kérdését egy tanulmányban taglaltuk, amit 1979-ben adtunk elő a Royal Societyben. Rámutattunk, hogy az állatok fegyverkezési versenyében látható előrelépés a túlélési eszközkészlet javulásának, és nem csupán magában a túlélésben végbemenő általános javulásnak felel meg, mégpedig egy érdekes oknál fogva. A támadás és védekezés közötti fegyverkezési versenyben lehetek olyan epizódok, amikor az egyik vagy

a másik fél ideiglenes előnyre tesz szert. Ám általánosságban az egyik fél javulásai kioltják a másik félét. A fegyverkezési versenyben van még valami ellentmondásos is. Gazdaságilag mindkét fél számára költséges, még sincs nettó nyereség egyik oldalon sem, mivel az egyik fél potenciális nyereségeit semlegesítik a másik fél nyereségei. Gazdaságossági szempontból mindkét fél jobban járna a fegyverkezési versenynek véget vető megállapodással. Nevetséges végletként a zsákmányfajok esetleg tizedként feláldozhatnák létszámuk bizonyos hányadát cserébe a többi biztonságos és zavartalan legelészéséért. Sem a ragadozók, sem zsákmányaik nem szorulnának arra, hogy értékes erőforrásaikat a gyors futáshoz szükséges izmokba, az ellenség felfedezéséhez szükséges érzékszervekbe, éberségbe és hosszas vadászatokba fektessék, amelyek mindkét fél részére időrablók és idegileg megterhelők. Mindkét fél jól járna, ha ilyen szakszervezeti megállapodást lehetne kötni.

Sajnos a darwini elmélet szerint ennek megvalósítására nincsen mód. Mindkét fél abba ömleszti erőforrásait, hogy versenyre keljen a másikkal, hogy felülmúlja, és mindkettő egyedei saját testük gazdálkodásán belüli bonyolult adok-veszekre kényszerülnek. Ha nem volnának a ragadozók, a nyulak arra fordíthatnák valamennyi gazdasági erőforrásukat és értékes idejük egészét, hogy még több nyúl ellátásáról és szaporításáról gondoskodjanak. Ehelyett idejük jelentős részét a ragadozók felderítésére és gazdasági erőforrásaik jelentős hányadát a menekülésre kell fordítaniuk. Ugyanakkor ez arra készteti a ragadozókat, hogy gazdasági erőforrásaik egyenlegét a szaporodás központi kérdéséről a zsákmányszerzéshez alkalmas fegyverzet tökéletesítésére fordítsák. A fegyverkezési verseny az állati evolúcióban éppúgy, mint az emberi technológiában, nem a javuló teljesítményekben mutatkozik meg, hanem azon gazdasági befektetések nagyobb arányában, amit nem az élet alternatív szempontjaira, hanem egyedül a fegyverkezési verseny kiszolgálására fordítanak.

Krebs és én aszimmetriákat találtunk a fegyverkezési versenyben, vagyis az egyik oldal több gazdasági erőforrást fordít a fegyverkezési versenybe, mint a másik. Az egyik ilyen egyenetlenséget az „élet vacsorája elvnek" neveztük, amely arról az ezópusi meséből nyerte a nevét, amelyben a nyúl gyorsabban fut a rókánál, mert a nyúl az életéért, míg a róka csupán a vacsorájáért fut. Itt aszimmetria jelentkezik a veszteség költségében. A kakukkok és gazdáik közötti fegyverkezési versenyben minden egyes kakukk magabiztosan tekinthet vissza olyan ősök szakadatlan sorára, akik szó szerint soha nem mulasztották el átejteni valamely nevelőszülőt. Másfelől valamely gazdafaj valamely egyede olyan ősökre nézhet vissza, akik közül sokan soha nem is találkoztak kakukkal, de sokan találkoztak eggyel, aki át is verte őket. A gazdafaj nemzedékeiben rengeteg olyan gén adódott tovább, amelyek alapján nem sikerült felfedezni és megölni a kukkokat. Ám azoknak a géneknek, amelyekkel a kakukkoknak nem sikerült átejteni a gazdákat, jóval kockázatosabb útjuk vezetett a nemzedékek során át. A kockázatok eme egyenlőtlensége újabbat táplál: az erőforrások fegyverkezési versenyre és nem az élet gazdaságtanának egyéb területeire fordításának egyenlőtlenségét. E lényeges pontot megismételve: a kudarc költségei súlyosabbak a kakukk, mint a gazda számára. Ez vezet arra az aszimmetriára, ahogyan a két fél beállítja az idejüket és egyéb gazdasági erőforrásaikat mozgósító versengő felszólítások közti egyensúlyt.

A fegyverkezési versenyek mélyen és megkerülhetetlenül haladóak úgy, ahogy például az időjáráshoz való evolúciós alkalmazkodás nem az. Valamely nemzedék

bármely egyede számára a ragadozók és az élősködők nagyjából éppúgy nehezítik meg az életet, mint a rossz időjárás. Ám evolúciós időben lényeges a különbség. Míg az időjárás céltalanul ingadozik, a ragadozók és az élősködők (valamint a zsákmányok és gazdaszervezetek) maguk is következetes irányban fejlődnek, és következetesen egyre rosszabbá válnak áldozataik szempontjából. A jégkorszakok és szárazságok evolúciós nyomon követésétől eltérően a múltban kezdődő fegyverkezési verseny folyamatai előrevetíthetők a jövőbe, és ezek a folyamatok éppúgy értékterheltek, mint a repülőgépek és fegyverek technológiai fejlesztései. A ragadozók szeme egyre élesebb lesz, bár nem szükségszerűen hatékonyabb, mivel a zsákmányt egyre nehezebb észrevenni. A futási sebesség gyorsan növekszik mindkét félnél, bár az előnyöket általában itt is eltörlik a másik fél párhuzamos fejlesztései. A kardfog úgy hegyesedik és hosszabbodik, ahogy az irha vastagodik. A mérgek egyre súlyosabbodnak, ahogy az őket közömbösítő biokémiai trükkök javulnak.

Az evolúciós idő múlásával együtt halad a fegyverkezési verseny. Az élet minden olyan vonása, amelyet egy emberi mérnök megcsodál összetettsége és elegáns volta miatt, egyre összetettebbé, egyre elegánsabbá és egyre inkább a terv illúzióját keltővé válik.* *A Valószínűtlenség hegyének megmászásá*ban megkülönböztettem a tervezettet a tervszerűtől. A tervszerű mérnöki munka látványos alkotásai, mint például az egerészölyv szeme, a denevér füle, a gepárd vagy a gazella izom- és csontrendszere, mind-mind a ragadozók és zsákmányaik fegyverkezési versenyének csúcstermékei. A paraziták és gazdaszervezeteik fegyverkezési versenye még finomabbra szőtt, egymáshoz alkalmazkodó, tervszerű csúcspontokban teljesedik ki.

* Hume mondta: „Mindezek a sokféle gépek, de még legapróbb alkatrészeik is olyan pontossággal vannak egymáshoz igazítva, amely csodálattal tölt el mindenkit, aki valaha is elgondolkodott ezen."

És most egy lényeges pont következik. Egy fegyverkezési versenyben bármely összetett, tervszerű szerv evolúciójának az előrehaladó evolúció nagyszámú lépésében kell megvalósulnia. Az ilyen evolúció azért számít meghatározásunk szerint haladónak, mert minden egyes változás általában elődjének az irányát követi. Honnan tudjuk, hogy több lépésről és nem csupán egyről vagy kettőről van szó? Az elemi valószínűség elméletből. Egy összetett gépnek, mondjuk a denevér fülének alkatrészeit milliófféleképp össze lehetne állítani találomra, míg sikerülne egy olyan újabb elrendezést kapnunk, amely éppoly jól hall, mint a valódi. Ez statisztikailag valószínűtlen, nem csupán abban az elkoptatott értelemben, hogy a részek egy bizonyos elrendeződése éppoly valószínűtlen, utólagos okoskodással, mint bármely másik. Nagyon kevés atomi csere eredményez precíziós hallókészüléket. Egy valódi denevérfül esélye egy a millióhoz, mégis működik. Olyasmit, ami statisztikailag ennyire valószínűtlen, nem lehet ésszerűen egyetlen szerencsés húzásból levezetni. Az ilyet valamiféle valószínűtlenség-keltő folyamatnak kellett létrehoznia: annak, amit a filozófus Daniel Dennett egy „daruval emelésnek" nevezett (a hasonlat az ember gyártotta emelőszerkezetre, és nem a madárra vonatkozik). A tudomány nem ismer másféle darukat (és fogadom, az egyedüli daruk, amelyek valaha léteznek vagy létezni fognak a Világegyetemben), mint a terv és a természetes kiválasztódás. A terv megmagyarázza a mikrofonok hatékony összetettségét. A természetes kiválasztódás megmagyarázza a denevérfül hatékony bonyolultságát. Végső soron a természetes kiválasztódás magyarázza meg a mikrofonokat és minden tervezett dolgot is, mivel a mikrofonok tervezői maguk is a természetes kiválasztódás által kialakított mérnökök. Végül is a terv nem magyaráz meg semmit, mivel a probléma elkerülhetetlenül visszatér a tervező eredetéhez.

A terv és a természetes kiválasztódás egyaránt fokozatos, lépésről lépésre történő, előrehaladó javulás. A természetes kiválasztódás nem is lehetne más. A terv esetében éppúgy lehet elvi kérdés, mint ahogy nem, mindenesetre tapasztalati tény. A Wright testvéreknek nem volt hirtelen ötletrohamuk, hogy egyből egy *Concorde*-ot vagy egy *Lopakodó* bombázót építsenek. Egy törékeny, roskatag tragacsot építettek, amely alig tudott elszakadni a földtől, hogy átbukdácsoljon a szomszédos mezőre. Kitty Hawktól Cape Canaveralig az út minden lépése az előző lépésre épült. A haladás fokozatos, lépésről lépésre történt ugyanabba a folytonos irányba, amely kielégíti az előrehaladóról alkotott meghatározásunkat. Némi nehézséggel el tudnánk képzelni egy viktoriánus zsenit, aki zeuszi, pofaszakállas fejében megtervez egy teljesen kész Sidewinder rakétát. A képzet ellentmond a józan észnek és a történelemnek is, de nem azonnal kerülne összeütközésbe a valószínűség törvényével, ahogy azt egy repülő, echolokációs, mai denevér spontán evolúciójáról mondanánk.

Egy, a földön élő, ősi cickánytól a repülő, echolokációs denevérhez vezető egyetlen makromutációs lépést éppoly biztonsággal zárhatunk ki, mint ahogy kizárhatjuk a szerencsét, amikor egy szemfényvesztő sikeresen kitalálja egy megkevert kártyapakli lapjainak a pontos sorrendjét. A szerencse nem szó szerint lehetetlen egyik esetben sem. Ám egyetlen valamire való tudós sem huzakodna elő ily roppant szerencsével magyarázatként. A kártya kitalálási kunsztnak trükknek kell lennie – valamennyien láttunk már a beavatatlan számára ehhez hasonlóan elképesztő trükköket. A természetnek nem célja, hogy a szemfényvesztőhöz hasonlóan megtévesszen bennünket. Ám a szerencsét így is kizárhatjuk, és éppen Darwin zsenije volt az, amely leleplezte a természet bűvészmutatványát. A visszhanggal tájékozódó denevér apró javítások araszolgató sorozatának az eredménye, amelyek mindegyike összegződve hozzáadódik az evolúciós irányzatot ugyanabba az irányba előrehajtó elődjeihez. Ez megfelel az előrehaladás fogalmának. Az okfejtés vonatkozik valamennyi, a terv látszatát keltő és éppen ezért egy meghatározott irányban statisztikailag valószínűtlen, összetett biológiai tárgyra. Valamennyinek ilyen előrehaladóan kellett kialakulnia.

A hazatérő gazda, aki most már fesztelenül érzékeny az evolúció nagy témáira, a haladást ekként ismeri föl. Ám az efféle haladás nem egyforma, rendületlen folyamat az evolúció kezdetétől fogva a jelenig, hanem inkább Mark Twainnek a történelemről idézett indító gondolatával élve: rímel. A fegyverkezési versenyben megfigyelünk egy haladási epizódot. Ám ez a bizonyos fegyverkezési verseny véget ér. Talán az egyik felet kipusztítja a másik. Esetleg mindkét fél kihal egy olyan tömegkatasztrófa nyomán, amilyen a dinoszauruszokat érte. Azután az egész folyamat újra kezdődik, nem a startvonalról, de a fegyverkezési verseny valamely megállapíthatóan korábbi szakaszától. Az evolúciós haladás nem egyetlen felemelkedés, hanem ismétlődő kiemelkedések tagolják, többé-kevésbé fűrészfogszerűen. Egy fűrészfog mélyen bemélyedt a kréta kor végén, amikor az utolsó dinoszauruszok átadták a helyüket az emlősök új, és látványosan felemelkedő progresszív evolúciójának. Kisebb fűrészfogak azonban akadtak a dinoszauruszok hosszú uralma alatt is. Közvetlenül a dinoszauruszok utáni felemelkedésüket követően az emlősöknek is voltak kisebb fegyverkezési versenyeik, amelyeket kihalások, majd megújult fegyverkezési versenyek követtek. A fegyverkezési versenyek rímelnek a soklépcsős, előrehaladó evolúció periodikus kiugrásainak korábbi fegyverkezési versenyeire.

Fejlődőképesség

Ennyit kívántam elmondani a fegyverkezési versenyről, mint a haladás mozgatóerejéről. Vajon milyen egyéb üzenetet hoz magával a múltból a jelenbe visszatérő fogadós? Nos, meg kell említenem a makroevolúció és a mikroevolúció közti állítólagos különbséget. „Állítólagosnak" mondom, mivel nézetem szerint a makroevolúció (az évmilliók nagy léptékében vett evolúció) egyszerűen nem más, mint az, amit akkor kapunk, ha a mikroevolúciónak (az egyedi élettartam alatt zajló evolúció) lehetősége van arra, hogy évmilliókig folytatódjék. Az ellentétes nézet szerint a makroevolúció minőségileg más, mint a mikroevolúció. Egyik nézet sem magától értetődően ostobaság. Mint oly gyakran, minden attól függ, hogyan értelmezzük a dolgot.

Megint bevethetjük a gyermeknövekedés párhuzamát. Képzeljünk el egy vitát a makronövekedés és a mikronövekedés közi állítólagos különbségről. A makronövekedés vizsgálatához néhány havonta lemérjük a gyereket. Minden születésnapján odaállítjuk egy fehér ajtófélfához, és ceruzavonással megjelöljük a magasságát. Tudományosabban fogalmazva, lemérhetjük különböző testrészeit, például a fejének átmérőjét, a vállának szélességét, a fő végtagcsontok hosszúságát, és diagramon feltüntethetjük őket, esetleg *Az ezermester meséjé*ben kifejtett okoknál fogva logaritmikusan átalakítva. Emellett feljegyezhetjük a fejlődés olyan fontos eseményeit, mint a fanszőrzet sarjadása, a lányoknál a mellek és a menstruáció, fiúknál az arcszőrzet jelentkezése. E változások – amelyeket éves vagy havi időskálán mérünk – alkotják a makronövekedést. Eszközeink nem eléggé érzékenyek a napi és óránkénti testi változások – a mikronövekedés – rögzítésére, amelyek havi szinteken összegezve alkotják a makronövekedést. Vagy különös módon, esetleg túl érzékenyek is a műszerek. Egy igen pontos mérőeszköz elméletileg képes rögzíteni az óránkénti növekedést, de a finom jelzést érvényteleníti a súly minden étkezés utáni szeszélyes növekedése és minden ürítést követő csökkenése. Magának a mikronövekedésnek a lépései, amelyek mind sejtosztódásból állnak, egyáltalán nem gyakorolnak hatást a súlyra, és csak kinyomozhatatlan hatással vannak a bruttó testméretekre.

Tehát a makronövekedés sok kis mikronövekedési epizód összege? Igen. Viszont az is igaz, hogy a különböző időléptékek teljesen eltérő vizsgálati módszereket és gondolkodásmódot követelnek. A sejteket vizsgáló mikroszkópok nem megfelelőek a gyermeknövekedés egész testi szinten történő tanulmányozásához. A súlymérő műszerek és mérőszalagok viszont nem alkalmasak a sejtosztódás vizsgálatához. A két időlépték a gyakorlatban gyökeresen eltérő vizsgálati módszereket és gondolkodásmódot követel. Ugyanezt mondhatnánk el a makroevolúcióról és a mikroevolúcióról. Ha a kifejezéseket azoknak a különbségeknek a jelölésére használjuk, hogy melyik a legjobb módszer a vizsgálatukhoz, akkor nem vitázom a makro- és mikroevolúció közti használható megkülönböztetésről. Nagyon is vitázom azonban azokkal, akik ezt a meglehetősen világi, gyakorlatias megkülönböztetést csaknem – vagy több mint csaknem – misztikus jelentőségre emelik. Aztán ott vannak azok, akik szerint Darwin elmélete a természetes szelekció által mozgatott evolúcióról magyarázatot ad a mikroevolúcióra, de lényegében tehetetlen a makroevolúció magyarázatában, amely következésképpen egy extra alkotóelemre szorul – szélső esetekben *isteni* extra alkotóelemre!

Sajnos az ilyen égi fogantyúk utáni vágyódás támaszt és megerősítést nyert valódi tudósok részéről is, akik szándékuk szerint ártatlanok az efféle dolgokban. Túl

gyakran és túl alaposan taglaltam már korábban a „szakaszos egyensúly" elméletét ahhoz, hogy ismételjem magam ebben a könyvben,* így csak annyit teszek hozzá, hogy ennek hívei általában továbbra is azt javasolják, hogy alapvetően „szét kell választani" a makro- és a mikroevolúciót. Ez indokolatlan következtetés. Semmiféle olyan extra alkatrészre nincs szükség mikroszinten, amely megmagyarázza a makroszintet. Inkább értelmezési többletszint *jelentkezik* makroszinten, a mikroszinten végbemenő események *következményeként*, elképzelhetetlen az időtávlatra vetítve.

* Szerintem ez egy érdekes tapasztalati kérdés, amelynek egyes esetei feltehetően más és más választ igényelnek, és amely nem érdemli meg, hogy a fő alapelv státusára emeljék.

A mikro- és makroevolúció közti használható különbség hasonlít ahhoz, amelylyel sok más helyzetben is találkoztunk. A világtérkép geológiai időtartam alatti változásai az évmilliók alatt összegződő, percek, napok és évek alatt végbemenő lemeztektonikai eseményekből összetevődő hatások következményei. Ám akárcsak a gyereknövekedésnél, gyakorlatilag itt sincs átfedés a két idősík tanulmányozására szolgáló vizsgálati módszerekben. Az elektromos feszültségingadozás nyelve nem használható akkor, amikor egy olyan nagy számítógépes program működéséről beszélünk, mint a Microsoft Excel. Egyetlen értelmes ember sem tagadja, hogy bármilyen összetettek legyenek is a számítógépes programok, teljességében két feszültség közti időbeli és térbeli változásokból épülnek föl. Még sincs olyan értelmes ember, aki ehhez a tényhez fordulna egy nagy számítógépes program írása, hibamentesítése vagy használata közben.

Soha nem találtam jó okot arra, hogy kételkedjek a következő állításban: a makroevolúció geológiai időtáv alatt egymáshoz illeszkedő mikroevolúciós darabkákból áll, amelyek nem genetikai mintavétellel, hanem kövületekkel deríthetők föl. Mégis lehetnek – és hiszem, hogy vannak – olyan jelentős események az evolúció történetében, amelyek után magának az evolúciónak a jellege is megváltozik. Azt is mondhatnánk, hogy maga az evolúció is fejlődik. E fejezetben a haladás mindeddig azt jelentette, hogy valamely egyedi organizmus javul a geológiai időtáv alatt abban, ami egy egyed dolga, vagyis a túlélésben és a szaporodásban. Ám magában az evolúció jelenségében végbemenő változásokat is figyelembe vehetjük. Válhat-e az evolúció jobbá valamiben – abban, ami a dolga – az idő előrehaladtával? Vajon a kései evolúció mutat valamiféle javulást a koraihoz képest? Vajon úgy fejlődnek a lények, hogy nem csupán a saját túlélési és szaporodási képességeiket javítják, hanem a leszármazási vonal fejlődési képességét is? Fejlődik-e a fejlődőképesség?

Egy tanulmányomban, amely a *Proceedings of the 1987 Inaugural Conference on Artificial Life* (A mesterséges életről tartott 1987-es nyitókonferencia előterjesztései) című kötetben jelent meg, a „fejlődőképesség evolúciója" kifejezéssel éltem. A „mesterséges élet" egyéb tudományok, nevezetesen a biológia, a fizika és az informatika összeolvasztása volt, a kötetet szerkesztő látnoki fizikus, Christopher Langton által. Tanulmányom óta, de talán nem annak következtében, a fejlődőképesség evolúciója sokat vitatott témakörré vált mind a biológia, mind a mesterséges élet tanulmányozói körében. Mások már jóval azelőtt is felvetették az eszmét, mielőtt a kifejezést használtam volna. Például Karel F. Liem amerikai halbiológus 1973-ban használta a „távlati alkalmazkodás" kifejezést a bölcsőszájú halak forradalmi állkapocskészülékének jelölésére, amely lehetővé tette számukra – miként a meséjükből megtudtuk –, hogy oly hirtelen és robbanásszerűen több száz fajt fejlesszenek ki az összes nagy afrikai tóban. Azt kell mondanom, Liem eszméje túlmegy az előre alkalmazkodás (preadaptáció) fogalmán. A preadaptáció olyan valami, amely eredetileg

kialakul egy bizonyos dologra, és aztán átkerül egy másikra. Liem távlati alkalmazkodása és az én fejlődőképességevolúcióm nem csupán egy új funkció átvételére, hanem az eltérő evolúció egy új fékevesztett kitörésére utal. Arra célzok, hogy állandó, sőt növekvő tendencia vezet a fejlődésben való javulás felé.

1987-ben a fejlődőképesség evolúciója valamiféle eretnekségnek számított, különösen részemről, az állítólagos „ultradarwinista" részéről. Abba a különös helyzetbe kerültem, hogy egy elképzelés mellett érveltem, miközben olyan emberek előtt mentegetőztem, akik azt sem érthették, miért kell mentegetőznöm. Ma már sokat vitatott kérdés ez, és mások annál is tovább vitték, mint ahogy én valaha is képzeltem. Ilyen például Marc Kirschner és John Gerhart sejtbiológusok, valamint a rovarevolúció szakértője, Mary Jane West-Eberhard, mesteri könyvében, a *Developmental Plasticity and Evolution*ben (A fejlődés képlékenysége és az evolúció).

Mi tesz jóvá egy organizmust a fejlődésben azon túl, hogy jó a túlélésben és a szaporodásban? Először nézzünk egy példát. Már találkoztunk azzal az elképzeléssel, hogy a szigetvilágok a fajképződés műhelyei. Ha a szigetek elég közel vannak egymáshoz ahhoz, hogy lehetőség nyíljék az alkalmi bevándorlásra, de elég messzire ahhoz, hogy legyen idő a bevándorlások közötti evolúciós eltérésre, máris megkaptuk a fajképződés receptjét, amely az evolúciós kirajzás felé tett első lépésnek felel meg. De milyen közel van az elég közel? Milyen távol az elég távol? Ez az állatok helyváltoztató képességétől függ. A fatetű számára néhány yardnyi távolság megfelel a sok-sok mérföldnyi távolságnak egy repülő madár vagy egy denevér esetében. A Galápagos-szigetek éppen kellő távolságra fekszenek egymástól ahhoz, hogy alkalmasak legyenek az olyan kis madarak elágazó evolúciójához, mint a Darwin-pintyek, de az elágazó evolúcióhoz általában nem szükségszerűen távol. Ebből a célból a szigetek távolságát nem abszolút egységekben, hanem a szóban forgó állatok helyváltoztatási képességeihez kalibrálva kell mérni – akárcsak annak az ír hajósnak az esetében, aki szüleim kérdésére, hogy milyen messze van a Great Blasket-sziget, így válaszolt: „Jó időben körülbelül hárommérföldnyire."

Ebből következően a galápagosi pinty, amely vagy csökkentette, vagy *növelte* repülési hatótávolságát, az evolúció terén ezzel esetleg *csökkentette* a fejlődőképességét. A hatótávolság rövidítése csökkenti annak esélyét, hogy egy másik szigeten a leszármazottakból új faj alakuljon ki. Ez könnyen érthető. A hatótávolság meghosszabbítása kevésbé nyilvánvaló hatást gyakorol ugyanebbe az irányba. Ekkor oly gyakran kerül sor utódutánpótlásra az új szigeten, hogy a következő bevándorló érkezése előtt nincs idő az evolúciós eltérésekre. Szélső esetben az olyan madarak, amelyek repülési hatótávolsága elég nagy ahhoz, hogy könnyedén megtegyék a szigetek közti távolságot, a szigeteket egyáltalán nem is tekintik többé különállónak. Ami a génáramlást illeti, az egész szigetcsoport egyetlen kontinensnek számít. Az ilyen eset sem kedvez a fajképződésnek. Az erős fejlődőképesség, ha azt a fajképződési aránnyal mérjük, mellékes következménye a középszintű helyváltoztatási hatáskörnek, ahol az, ami közepesnek számít, szemben a túl röviddel vagy a túl hosszúval, az érintett szigetek egymáshoz viszonyított elhelyezkedésétől függ. Az effajta okfejtésben természetesen a „sziget" nem szükségszerűen vízzel körülvett szárazföldet jelent. Ahogy azt *A bölcsőszájú hal meséjé*ben láttuk, a tavak a vízi állatok számára szigetek. A hegycsúcsok szigetek az olyan földi állatok számára, amelyek nem bírják az alacsony magasságokat. Egy fa sziget egy rövid hatótávolságú állat számára. Egy AIDS-vírus számára minden ember sziget.

Ha az utazótávolságban bekövetkezett növekedés vagy csökkenés növeli a fejlődőképességet, nevezhetjük ezt továbbfejlődött „javulásnak"? Ultradarwinista szőreim kezdenek égnek állni ezen a ponton. Eretnekségkimutató lakmuszpapírom kezd elszíneződni. Olyan kínosan hangzik ez, mint az evolúciós előrelátás. A madarak az egyéni túléléshez szolgáló természetes kiválasztódás miatt növelik vagy csökkentik repülési távolságukat. Ennek a jövendőbeli evolúcióra gyakorolt hatása mellékes következmény. Utólagos bölcsességgel visszatekintve azonban mégis megállapíthatnánk, hogy a világot megtöltő fajok általában az evolúcióban tehetséget mutató ősi fajok leszármazottai. Ezért azt is mondhatjuk, hogy létezik egyfajta magas szintű szelekció a leszármazási ágak között, amely a fejlődőképességnek kedvez – ennek egyik példáját nevezte a nagy amerikai evolucionalista, George C. Williams kládszelekciónak. A hagyományos darwini szelekció olyan egyedi szervezeteket eredményez, amelyek finoman hangolt túlélőgépek. Lehetséges volna, hogy a kládszelekció következtében maga az élet vált egyre inkább finoman hangolt fejlődőgépek állományává? Ha így van, arra is számíthatnánk, hogy az evolúció kauffmani újrafuttatásai során esetleg a fejlődőképesség ugyanilyen előrehaladó javulásának felfedezésére kerülne sor.

Amikor először írtam a fejlődőképesség evolúciójáról, utaltam számos „vízválasztó eseményre" az evolúcióban, amelyek után a fejlődőképesség hirtelen megjavult. Az általam elgondolható legígéretesebb vízválasztó esemény a szelvényezettség volt. Emlékszünk, hogy a szelvényezettség a test vonatszerű tagolódását jelenti, amelyben a részek és rendszerek sorozatban ismétlődnek végig a testen. Úgy tűnik, teljes formája függetlenül alakult ki az ízeltlábúaknál, a gerinceseknél és a gyűrűsférgeknél.* A szelvényezettség eredete azon evolúciós események közé tartozik, amelyek nem lehettek fokozatosak. A csontos halaknak általában 50 csigolyájuk van, de az angolnának 200. A féreggőték csigolyáinak száma 95 és 285 között ingadozik. A kígyók csigolyáinak száma jelentősen eltér; tudomásom szerint a rekordot egy kihalt kígyófaj tartja 565 csigolyával.

* Bár a Hox-gének egyetemessége valamiféle első és hátsó sorozatos elrendeződésű előd mellett érvel.

Egy kígyó minden gerinccsigolyája egy szelvényt képvisel, saját bordapárral, saját izomnyalábokkal, és a gerinchúrból leágazó saját idegekkel. Tört számú szelvény nem lehetséges, és az eltérő szelvényszám evolúciója bizonyára számos olyan esettel járt, amikor egy mutáns kígyó valahány egész számú szelvényben – legalább egyben, de lehet, hogy többen – különbözött a szüleitől. Amikor a szelvényezettség kialakult, végbe kellett mennie egy olyan mutációs átmenetnek, amikor egy szelvénytelen szülőnek egyből (legalább) kétszelvényű gyermeke lett. Nehéz elképzelni egy ilyen csodabogár fennmaradását, hacsak nem talált magának párt, hogy szaporodjék, mégis nyilván így történt, hiszen szelvényezett állatok vesznek körül bennünket. Nagyon valószínű, hogy a mutáció *A gyümölcslény meséjé*ben említett Hox-génnel kapcsolatos. A fejlődőképességről szóló 1987-es tanulmányomban felvetettem, hogy

> ...az első szelvényes állat saját élete alatti egyéni sikere vagy sikertelensége viszonylag lényegtelen. Nem vitás, hogy egyedként sok más új mutáns volt sikeresebb. Az első szelvényes állatban az a lényeges, hogy leszármazotti ágai fejlődő-bajnokok voltak. Kirajzottak, fajjá alakultak, egész új törzseket keltettek életre. A szelvényezettség akár előnyös alkalmazkodásnak bizonyult az első szelvényes állat számára, akár nem, olyan változást jelentett az embriológiában, amely evolúciós lehetőséggel volt terhes.

Annak könnyűsége, amellyel egy teljes szelvényt hozzá lehet adni a testhez, vagy el lehet venni belőle, a fokozott fejlődőképességnek csupán egyik tényezője. A másik

a szelvények közti differenciálódás. Olyan állatokban, mint a százlábú vagy a földigiliszta, a legtöbb szelvény ugyanolyan. Ám van egy visszatérő tendencia, különösen az ízeltlábúaknál és a gerinceseknél, hogy bizonyos szelvények meghatározott célra szakosodnak, és így eltérnek más szelvényektől (hasonlítsunk össze egy homárt egy százlábúval). Egy olyan leszármazási ág, amelynek sikerül szelvényes testfelépítést kialakítania, egyből képessé válik egy egész sor új állat kialakítására azzal, hogy a testen végig megváltoztatja a szelvénymodulokat.

A szelvényezettség a tagoltság példája, márpedig a tagoltság (modularitás) általánosságban a fejlődőképesség evolúciójáról újabban elmélkedő szerzők gondolkodásának egyik fő összetevője. A modul idevágó jelentése:

> Termelési egységek vagy alkatrészek sorozatának egyik, általában önálló szerkezetként előre gyártott eleme, amelynek szabványosítottsága lehetővé teszi beszerelését vagy cseréjét.

A moduláris melléknévként jellemzi a modulokból álló szerkezetet, míg az ennek megfelelő elvont főnév, a modularitás tehát a moduláris jellegre utal. A moduláris szerkezetek egyéb példái közé tartozik számos növény (a levelek és a virágok is modulok). Ám a modularitás talán legjobb példái sejt- és biokémiai szinten találhatók. Maguk a sejtek *par excellence* modulok, a sejteken belül pedig ilyenek a fehérjemolekulák és természetesen maga a DNS. Így a soksejtűség találmánya másik olyan fontos vízválasztó esemény, amely csaknem biztosan megnövelte a fejlődőképességet. Sok százmillió évvel megelőzte a szelvényesedést, és a szelvényesedés maga is nagyméretű újrajátszása ennek, újabb ugrás a modularitás terén. Milyen egyéb vízválasztók voltak még? E könyv ajánlásának címzettje, John Maynard Smith, magyar kollégájával, Szathmáry Eörssel dolgozott együtt a *The Major Transitions in Evolution* (Az evolúció nagy lépései) című könyvön. „Nagy lépéseik" jórésze besorolható lenne a „vízválasztó események" cím alá – vagyis a fejlődőképesség főbb javulásai közé. Nyilván itt van a helye a replikálódó molekulák eredetének is, mivel nélkülük egyáltalán nem került volna sor az evolúcióra. Ha, miként azt Cairns-Smith és mások felvetették, a DNS elbitorolta a replikátori főszerepet valamely kevésbé professzionális elődtől, és ezt közbenső fokozatok hidalták át, akkor mindegyik ilyen fokozat előreugrást képvisel a fejlődőképességben.

Ha elfogadjuk az RNS-világ-elméletet, nagy lépés vagy vízválasztó lehetett, amikor a replikátorként és enzimként egyaránt működő RNS átadta a helyét a DNS-nek a replikátor szerepkörben és a fehérjéknek az enzim szerepkörben. Ezután következett a replikátor egységek („gének") egybegyűjtése fallal övezett sejtekben, amely megakadályozta a géntermékek kiszivárgását, és együtt tartotta őket egyéb gének termékeivel, amelyekkel a sejt vegykonyhájában képesek voltak együttműködni. Rendkívül döntő lépés és feltehetően a fejlődőképesség vízválasztója volt az eukarióta sejt születése több prokarióta sejt összeolvadásával. Ugyanilyen volt az ivaros szaporodás, amely egybeesett maguknak a fajoknak az eredetével, amelyek rendelkeznek saját génkészlettel és mindazzal, amelyet a jövendő evolúció magában foglalt. Maynard Smith és Szathmáry a továbbiakban számba veszi a soksejtűség eredetét, a hangya- és a termeszfészkekhez hasonló kolóniák kialakulását, valamint a nyelvvel rendelkező emberi társadalmak kialakulását. Ismétlődő hasonlóságok vannak legalábbis e döntő átmenetek többségénél: gyakran járnak a korábbi független egységek magasabb szintű, nagyobb csoportokba tömörülésével, ami az alacsonyabb szinten meglévő függetlenség elvesztésével jár együtt.

Listájukat már kiegészítettem a szelvényezettséggel, és hangsúlyoznék még egyet, amit útszűkülethatásnak nevezek. Ismételten mondom, hogy ennek teljes kifejtése korábbi könyvek (különösen *A hódító gén* utolsó, „A szervezet újrafelfedezése" című fejezetének) ismétlése lenne. Az útszűkülethatás a soksejtű szervezetek élettörténetének egy bizonyos típusára vonatkozik. Az útszűkülethatás során az életciklus rendszeresen visszatér egyetlen sejthez, amelyből a soksejtű test újranő. Az útszűkületbe került életciklus alternatívája lehetne egy olyan elméleti kúszó vízinövény, amely úgy szaporodik, hogy kicsi, többsejtű darabkákra szakadozik, amelyek elsodródnak, megnőnek, majd újabb kis darabkákra szakadnak. Az útszűkülethatás három fontos következménnyel jár, amelyek mindegyike bizonnyal jó jelölt a fejlődőképesség javulására.

Először is, az evolúciós újításokat elejétől fogva újra fel lehet találni ahelyett, hogy újra formázódnának a meglévő szerkezetek – ami megfelel annak, amikor kardból ekevasat kalapálunk. Egy tökéletesítésnek – mondjuk a szíven – nagyobb esélye van arra, hogy tiszta javulásnak számítson, ha a genetikai változások módosíthatják a teljes fejlődési folyamatot az egyetlen sejttől kezdve. Képzeljük el ennek ellenkezőjét: vegyük a meglévő szívet, és módosítsuk úgy, hogy a folytonosan lüktető anyagában eltérően növeljük a szövetet. Ez az egymást követő újraformálás rontaná a szív működését, és veszélybe sodorná a leendő javításokat.

Másodsorban azzal, hogy az útszűkülethatás egy visszatérő életciklusban folyton visszaáll egy állandó kezdőpontra, olyan „naptárt" biztosít, amellyel időzíteni lehet az embriológiai eseményeket. A géneket a növekedési ciklus során a kulcspontokon lehet fel- és lekapcsolni. Feldarabolódó elméleti kúszónövényünkben nincs ilyen felismerhető menetrend, amely szabályozná a fel- és lekapcsolódásokat.

Harmadsorban, az útszűkülethatás nélkül különböző mutációk halmozódnának fel a feldarabolódó kúszónövényünk különböző részeiben. A sejtek közti együttműködésre buzdító ösztönzés csökkenne. Ennek következtében a sejtek alpopulációi kísértésbe esnének, hogy rákként viselkedjenek, és növeljék esélyüket arra, hogy géneket biztosítsanak a leváló darabkákba. Az útszűkülethatás mellett, azzal, hogy minden generáció egyetlen sejtként indul, az egész testnek is jó esélye van arra, hogy együttműködő sejtek olyan egyöntetű genetikai populációjából épüljön föl, amelyek mindegyike attól az egyetlen sejttől származik. Az útszűkülethatás nélkül a test sejtjei esetleg „megosztott lojalitással" rendelkeznének.

Van az evolúcióban még egy, az útszűkülethatáshoz hasonlóan fontos, mérföldkőesemény, mégpedig olyan, amely bizonyára hozzájárulhatott a fejlődőképességhez, és újra feltalálnák a kauffmani újrajátszások során. Nem más ez, mint a csíravonal elválása a testi (szomatikus) anyagtól, amit elsőként a nagy német biológus, August Weismann értett meg világosan. Mint ahogy azt a 31. találkozáson láttuk, a fejlődő embrióban a sejtek egy része elkülönül a szaporodáshoz (csíravonalsejtek), míg többi részük a testalkotásra van szánva (testi sejtek). A csíravonalgének potenciálisan halhatatlanok, hisz az eljövendő évmilliókra nézve közvetlen utódokra van kilátásuk. A testi gének véges, ha nem is mindig megjósolható számú sejtosztódásra rendeltettek, hogy felépítsék a test szöveteit, minekután vonaluk véget ér, és a szervezet elpusztul. A növények gyakran megszegik ezt a szétválasztást, legnyilvánvalóbb módon akkor, amikor vegetatív módon szaporodnak. Ez lényeges különbséget jelent a növényi és állati fejlődésmódok között. A külön testi sejtek feltalálása előtt valamennyi élő sejt potenciálisan végtelen számú leszármazotti ág őse volt, ahogy a szivacssejtek még ma is azok.

A szex feltalálása olyan döntő vízválasztó, amely felszínesen összekeverhető mind az útszűkülethatással, mind a csíravonal elkülönülésével, pedig logikailag mindkettőtől különböző. Legáltalánosabb formájában a szex a genomok részleges összekeveredése. Számunkra ennek egy sajátos, magasan szabályozott változata ismert, amelyben egy egyed genomjának 50-50 százalékát kapja a két szülőtől. Megszoktuk azt a gondolatot, hogy kétfajta szülő van, nő és hím, de ez nem szükségszerűen tartozik az ivaros szaporodáshoz. Az izogámia rendszerében két, hímként és nőként nem megkülönböztethető egyed egyesíti génjeik felét egy új egyed létrehozása érdekében. A hím/nő megoszlást a legjobb olyan újabb vízválasztó eseményként kezelni, amely maga a szex kialakulása után következett be. Az effajta szabályozott szex minden nemzedéknél „csökkentő leosztással" jár, amennyiben minden egyed genomjának 50 százalékát adja át valamennyi utódjának. Ezen csökkentés nélkül a genomok mérete minden generációval megkétszereződne.

A baktériumok az ivaros adományozás véletlenszerű formáját gyakorolják, amelyet gyakran ivaros szaporodásként írnak le, ám amely valójában nagyon is más, és több köze van egy számítógépprogram „kivágás és beillesztés" vagy „másolás és beillesztés" műveleteihez. Egy baktérium genomjának töredékei másolódnak le vagy vágódnak ki, majd illesztődnek be egy másik baktériumba, amelynek nem is kell ugyanabba a „fajba" tartoznia (a faj puszta jelentése is igen kétséges a baktériumok esetében). Mivel a gének a sejtműködést vezérlik, a „beillesztett" gén azonnal munkához lát új környezetében, ahol ugyanazt a feladatot tölti be, mint korábban.*

És mi jó van ebben az adományozó baktérium számára? Lehet, a kérdés rossz. A helyes kérdés az lenne, hogy mi jó van ebben az adományozó gén számára? A válasz pedig az, hogy azok a gének, amelyek sikeresen átadják magukat, és aztán sikerrel járulnak hozzá a fogadó baktérium túléléséhez és továbbadásához, megnövelik saját másolataik számát is a világban. Nem világos, hogy a mi szabályozott eukarióta szexünk, vajon a bakteriális „kivág és beilleszt" fajtájú szexből vagy egy teljesen új vízválasztó eseményből alakult-e ki. Bizonyára mindkettőnek óriási hatása volt az ezt követő evolúcióra, és jelöltek arra is, hogy a fejlődőképesség evolúciója fejezetcím alatt taglaljuk őket. A szabályozott szex, mint azt *A kerekesféreg meséje*ben láttuk, drámai hatást gyakorolt a jövendő evolúcióra, mivel lehetővé teszi a saját génkészlettel rendelkező fajok létét is.

Az Ős meséje cím egyes számra utal. Elismerem, hogy ennek részben stilisztikai oka van. Mégis, azon sok millió, sőt talán milliárd egyedi ősön át, akiknek életét zarándokutunk során érintettük, egyetlen hős bukkan fel újra és újra mollban, akár valami wagneri vezérmotívum: a DNS. *Éva meséje* rámutatott arra, hogy a géneknek is vannak őseik, nem is kevesebb, mint az egyedeknek. *A Neander-völgyi meséje* ezt a tanulságot alkalmazta arra a kérdésre, hogy vajon a pórul járt fajok a csapást enyhítő mindenféle örökség nélkül enyésztek-e el. *A gibbon meséje* az őstörténet eltérő szemléletének bizonygatása fölött marakodó gének „többségi szavazásának" témáját melegítette föl. *Az ingola meséje* megállapította a génmegkettőződés és a fajképződés hasonlóságát, mindegyiket a maga szintjén értelmezve – mely hasonlóság oly közeli, hogy külön családfák rajzolhatók fel a géneknek, amelyek párhuzamosak, de nem esnek egybe a törzsfejlődés szokványos családfáival. A vezérmotívum a taxonómia területén visszahangzik, de a természetes kiválasztás megértésekor elválik az „önző gén" főtémájától.

* Ezért működik a génmanipuláció a modern mezőgazdasági tenyésztőmunkában. Ennek legendás példája, amikor sarki halakból „fagyálló" géneket vittek át paradicsomba. Ez ugyanazon okná fogva működik, mint amely miatt bízhatunk abban, hogy az egyik programból a másikba átmásolt számítógépes alprogram működése ugyanazt az eredményt hozza. A génmanipulált termények esete nem ilyen egyértelmű, ám a példa talán megfelel arra, hogy enyhítse, mondjuk a halgének paradicsomba való bevitelének „természetellenességétől" való félelmeket, mintha azokkal valamiféle halszag is átkerülne. Az alprogram az alprogram, és a DNS-programnyelv azonos a halakban és a paradicsomokban.

A GAZDA ELKÖSZÖN

Ha hazatérő gazdaként elgondolkodom az egész zarándoklaton, amelynek hálás részese voltam, legfőbb reakcióm a bámulat. Bámulat nem csupán az általunk látott részletek túláradó bőségén, hanem pusztán azon a tényen is, hogy egyáltalán lehetnek ilyen részletek valamely bolygón. A Világegyetem oly egyszerűen maradhatott volna élettelen és egyszerű – mindössze fizika és kémia, az időt és a teret megszülő kozmikus robbanás szétszórt pora csupán. Az a tény, hogy nem így történt – az a tény, hogy élet alakult ki a csaknem semmiből mintegy 10 milliárd évvel azután, hogy a Világegyetem létrejött a szó szerinti semmiből, olyan döbbenetes, hogy őrültség volna szavakat találni rá. És ezzel még nincs vége. Nemcsak megtörtént az evolúció, de végül olyan lényeket eredményezett, amelyek képesek a folyamat megértésére.

Ez a zarándoklat utazás volt nem csupán szó szerinti, de abban az antikulturális értelemben is, amellyel az 1960-as években fiatalemberként Kaliforniában ismerkedtem meg. A Haight-ben, Ashburyben vagy a Telegraph Avenue-n kapható leghathatósabb hallucinogén is gyengének bizonyulna az összehasonlításkor. Ha a döbbenet kell, akkor a valódi világban minden megtalálható. Hogy csak e könyv borítólapjai közt maradjunk, gondoljunk csak a Vénusz-övre, a vándorló medúzákra és a parányi szigonyaikra; gondoljunk a kacsacsőrű emlős radarjára, az elektromos halra; a bögöly lárvájára, amely szembetűnő előrelátással védi ki az iszap repedéseit; gondoljunk a vörösfenyőre; gondoljunk a pávára; gondoljunk a tengericsillagra és csöves hidraulikus mozgatóerejére; gondoljunk a Viktória-tó bölcsőszájú halaira és arra, *hány* nagyságrenddel gyorsabban fejlődtek, mint a *Lingula*, a *Limulus* vagy a *Latimeria*. Nem a könyvemmel való büszkélkedés, hanem pusztán az élet iránti tisztelet mondatja velem, hogy ha igazolást keresünk az utóbbira, üssük fel találomra bárhol az előbbit. És gondolkodjunk el azon, hogy bár e könyv emberi szemszögből íródott, több párhuzamos könyvet lehetett volna írni a 10 millió útra kelő zarándok bármelyikének a szemszögéből. Nem csupán az e bolygón virágzó élet bámulatos és mélységesen kielégítő mindazoknak, akiknek érzékeit nem tompította el a megszokás: maga az a tény, hogy olyan agykapacitást alakítottunk ki, amely képes megérteni evolúciós genezisünket, megkétszerezi bámulatunkat, és elmélyíti megelégedettségünket.

A „zarándoklat" jámborságot és tiszteletet feltételez. Ezúttal nem volt alkalmam arra, hogy hangoztassam a hagyományos jámborság iránti türelmetlenségemet, és minden természetfölötti iránti tisztelettel szembeni rosszallásomat. Ám nem is titkolom őket. Mindez nem azért van, mert csökkenteni vagy lefokozni akarnám az igazi tiszteletet, amely a Világegyetem ünneplésére indíttat bennünket, miután megfelelően megértettük azt. Az „ellenkezőleg" enyhe kifejezés lenne. A természetfölötti hit elleni tiltakozásom pontosan abból fakad, hogy szánalmasan elmulasztja azt, hogy igazságot szolgáltasson a valódi világ fenséges nagyságának. A valóság beszűkítését és a valódi világ felajánlotta gazdagság elszegényítését jelenti.

Azt gyanítom, hogy a magukat vallásosnak nevezők közül sokan azon kapják magukat, hogy egyetértenek velem. Nekik csak kedvenc megjegyzésemet idézném, amely egy tudományos konferencián ütötte meg a fülemet. Témakörön egyik kiváló nagy öregje hosszasan vitatkozott az egyik kollégával. Amikor a szóváltás véget ért, így szólt: „Tudja, valójában egyetértünk. Csak ahogy *mondja*, abban téved!"

Úgy érzem, valódi zarándoklatról tértem meg.

TOVÁBBI OLVASMÁNYOK

[A szögletes zárójelben lévő számok a bibliográfiában felsorolt forrásokra utalnak.]

BARLOW, GEORGE (2002) *The Cichild Fishes: Nature's Grand Experiment in Evolution*. Perseus Publishing, Cambridge, Mass.

DIAMOND, JARED (1997) *Guns, Germs and Steel: A Short History of Everybody for the Last 13,000 Years*. Chatto – Windus, London. (magyarul: Háborúk, járványok, technikák. Typotex Kiadó, 2001)

FORTEY, RICHARD (1997) *The Earth: An Intimate History*. HarperCollins, London.

LEAKEY, RICHARD (1994) *The Origin of Humankind: Unearthing Our Family Tree*. Science Masters series, Basic Books, New York. (magyarul: Az emberiség eredete. Kulturtrade Kiadó, 1995)

MAYNARD SMITH, JOHN – SZATHMÁRY, EÖRS (1999). *The Origins of Life: From the Birth of Life to the Origin of Language*. Oxford University Press, Oxford. (*Részletesebben lásd:* [189].) (magyarul: A földi élet regénye: Az élet születésétől a nyelv kialakulásáig. Vince Kiadó, 2000)

QUAMMEN, DAVID (1996) *The Song of the Dodo: Island Biogeography in an Age of Extinctions*. Hutchinson, Oxford.

RIDLEY, MARK (2000) *Mendel's Demon: Gene Justice and the Complexity of Life*. Weidenfeld – Nicholson, London.

RIDLEY, MATT (1999) *Genome: The Autobiography of Species in 23 Chapters*. Fourth Estate, London.

SOUTHWOOD, RICHARD (2003) *The Story of Life*. Oxford University Press, Oxford.

TUDGE, COLIN (2000) *The Variety of Life: A Survey and a Celebration of all the Creatures that Have Ever Lived*. Oxford University Press, Oxford.

WEINER, JONATHAN (1994) *The Beak of the Finch: A Story of Evolution in Our Time*. Jonathan Cape, London.

WILSON, E. O. (1992) *The Diversity of Life*. Harvard University Press, Cambridge, Mass.

Haladó olvasmányok

BRUSCA, RICHARD C. – BRUSCA, GARY J. (2002) *Invertebrates*. 2nd Edn. Sinauer Associates Inc., Sunderland, Mass.

CARROLL, ROBERT L. (1988) *Vertebrate Paleontology and Evolution*. W. H. Freeman, New York.

MACDONALD, DAVID (2001) *The New Encyclopedia of Mammals*. Oxford University Press, Oxford.

RIDLEY, MARK (2004) *Evolution*. 3rd Edn. Blackwell, Oxford.

JEGYZETEK A TÖRZSFÁKHOZ ÉS A REKONSTRUKCIÓKHOZ

YAN WONG

[A szögletes zárójelben lévő számok a bibliográfiában felsorolt forrásokra utalnak.]

Törzsfadiagramok

A következő jegyzetek a könyvben szereplő törzsfák tudományos alapját körvonalazzák, különös tekintettel az újabb taxonómiai módosításokra és a jelenleg zajló vitákra. Colin Tudge munkája, a *The Variety of Life* (Az élet változatossága) [289] a törzsfejlődés jó és viszonylag friss áttekintését nyújtja.

0. TALÁLKOZÁS A két Amerikát kihagytuk, mivel a bizonyítékok szerint az ember Ázsiából nemrégiben vándorolt oda. A 0. közös ősnek logikusan legalább olyan közelmúltbelinek kell lennie, mint bármely legutóbbi közös génősnek (mint amilyen az Y-kromoszómás „Ádám"), és még az alacsony kereszteződési szint is elegendő ahhoz, hogy az egész emberiség számára igen közeli legutóbbi közös őst eredményezzen [45]. Ebből adódik az itt alkalmazott közelmúltbeli időpont.

1. és 2. TALÁLKOZÁS A törzsfa (akár a többi törzsfánál is, a gének többségi „szavazásának" eredményei – lásd *A gibbon meséjét*) a morfológiára [102] és a molekulákra [20] épül. Az elágazások időpontját a molekuláris óra mutatja meg [105, 230].

3. TALÁLKOZÁS A törzsfa és az elágazások időpontjai a morfológiai, fosszilis és molekuláris adatokra épülnek [102, 105, 273].

4. TALÁLKOZÁS A gibbon törzsfa bizonytalan: ez a fa a közös ős és a *Symphalangus/Hylobates* elágazásokkal kapcsolatos molekulárisóra-időpontokkal [105] kiegészített mtDNS-adatokra [246, 2c ábra] épül.

5. TALÁLKOZÁS Szokványos törzsfa. Az elágazási időpontokat a molekuláris és fosszilis adatok jelölik ki [105].

6. TALÁLKOZÁS A törzsfát és az időpontokat közvetlenül a [105]-ből vettük át vagy következtettük ki. Az Aotinae helye nem túl biztos, és a jövőben módosulhat.

7. TALÁLKOZÁS A koboldmakik családjának elhelyezése és kormeghatározása egyezik a molekuláris [105] és morfológiai adatokkal.

8. TALÁLKOZÁS Az orrtükrösökön belül a makik rokonsági viszonyai vitatottak, bár gyakran a véznaujjú makit tekintik az alapnak. A többi négy család sorrendje és kormeghatározása a molekulákból származik [322], amelyek sorozatai a főemlősök alapelágazását 63 millió évvel ezelőttre teszik [105, 207]. Más számítások azonban ezt az elágazást 80 millió évvel ezelőttre helyezik [281], s ezzel a 9., 10. és 11. találkozásokat is 15 millió évvel tolja visszafelé.

9. TALÁLKOZÁS A repülőmakik és a mókuscickányok itteni, friss molekuláris adatokra [207] alapuló elhelyezése erősen vitatott (lásd a vonatkozó mesét). Az alapidőpontot a környező csomópontok 63 és 75 millió év közé szorítják.

10. TALÁLKOZÁS A Glires elhelyezése szilárd molekuláris adatokra épül [207]. A találkozás időpontját a 11. találkozás időpontja korlátozza [137, 207], de 10 millió évvel korábban is lehetett. A Lagomorpha elhelyezése vitathatatlan [137, 207]. A rágcsálók törzsfája vitatott. A Hystricognatha rágcsálóké (Hystricidae, Philomorpha, Caviomorpha) általánosan elfogadott. Egyébként gyakran négy csoportot

találunk a molekuláris tanulmányokban [pl. 137, 202]: Muridae+Dipodidae, Aplodontidae+Sciuridae+Gliridae, Ctenodactylidae+Hystricognatha, Heteromyidae+Geomyidae. E csoportok elágazási sorrendje és megközelítő korszakolása mtNDS-re és rDNS-re épül [202], de a sorrend nem szilárd [pl. *lásd* 137].

11. és 12. TALÁLKOZÁS A törzsfa és a korszakolás a közelmúlt forradalmi molekuláris vizsgálataira épül [207, 271].

13. TALÁLKOZÁS A törzsfa és a kormeghatározás molekuláris adatokra épül [207, 271]. A morfológia [177] és bizonyos molekulák [205] megegyeznek az elefánt/szirén/szirtiborz szétválásban, viszont bizonytalanság uralkodik a fokföldi földimalac elhelyezésében [205, 271], s a morfológiai adatok továbbra is összeütközhetnek az Afrosoricida helyzete kapcsán [177].

14. TALÁLKOZÁS A találkozásokat a régi és új adatok is alátámasztják [208]. A méhlepényes emlősök 140 millió évvel ezelőtti különválásában a következtek és az új molekuláris adatok is egybevágóak [7, 144]. A molekuláris vizsgálatok [212, 272] a morfológiával összehangzóan [251] az oposszumokat és a cickányoposszumokat a többi erszényes testvércsoportjának találják. A többi ágat eltérő módon támasztják alá a molekuláris adatok [212, 272]; a monito del monte helyzete különösen bizonytalan; itt a Diprotodontia testvéreként tüntetjük föl [251]. Az elágazások időpontját a molekuláris óra adataiból és a gondwanai biogeográfiából [212] merítettük.

15. TALÁLKOZÁS A törzsfa és a kormeghatározás újabb molekuláris és morfológiai adatokra épül [208].

16. TALÁLKOZÁS A 16. találkozás időpontjával kapcsolatos becslések átlaga 310 millió évvel ezelőttre esik [40]. A kígyókon és a gyíkokon belül mára már általánosan elfogadottak az elágazások [228]. A madarak elágazási sorrendjét genetikai vizsgálatokra [293] és DNS-hibridizációs adatokra [265] alapoztuk: bizonytalan rokonságuk miatt sok rend a Neoaves közé került.

17. TALÁLKOZÁS Bár némely paleontológus vitatja [40], a molekuláris és morfológiai adatok erősen a Lissamphibia monofiletikusságára és az itt bemutatott elágazási sorrendre utalnak [325]. Az alapadatok a paleontológiai bizonyítékokra [4] és az mtDNS legnagyobb valószínűségfáira [325] épülnek.

18. és 19. TALÁLKOZÁS A törzsfa és a kormeghatározás újabb molekuláris [294] és morfológiai/paleontológiai [326] vizsgálatokra épül.

20. TALÁLKOZÁS A találkák időpontja általánosan elfogadott [209]. A sugarasúszójú halak törzsfája jelenleg képlékeny állapotban van [141, 199], bár az itt követett hagyományos nézetet [209] széltében támogatják. Az elágazások fosszilis adatokon nyugszanak [40, 209]. Néhány csoportot az egyszerűség kedvéért szándékosan hagytunk el, mivel a törzsfa nem szilárd.

21. TALÁLKOZÁS A törzsfa morfológiai adatokra [75, 263], az elágazások időpontjai fosszilis adatokra [209, 252] épülnek.

22. TALÁLKOZÁS Az Agnatha csoportosítása genetikai adatokra épül [97, 279], amely ellentmond a legtöbb következtetésű törzsfának (ám ezek a specializált csoportok másodlagos jellegvesztésen estek át, amely megnehezíti a morfológiai adatok használatát). A találkozás időpontját a fosszilis adatok szoros határok közé korlátozzák [264]. Az ingola – nyálkahal szétválás ideje molekuláris legnagyobb valószínűségű fákra épül [279].

23. TALÁLKOZÁS A molekulárisóra-adatok [315] szerint a lándzsahal elválása az újszájúaknak az itt is követett, a közepes erősségű kambriumi robbanás (lásd *A bársonyféreg meséjét*) alapján 570 millió évvel ezelőttre becsült alapelágazásának közelében zajlott le.

24. TALÁLKOZÁS A találkozás időpontját a szomszédos csomópontok korlátozzák. Talán közelebb volt az Ambulacrariához, mint a lándzsahalhoz [315].

25. TALÁLKOZÁS Az Ambulacraria csoportosítása és alapelágazásai közepes erősségű kambriumi robbanást feltételezve az újabb genetikai adatokra épülnek [32, 97, 315]. A genetikai vizsgálatok a *Xenoturbellida* elágazását is korai időpontra teszik [28], bár a pontos elhelyezés nem szilárd. A tüskésbőrűek törzsfája és a kormeghatározás genetikai, fosszilis és morfológiai adatokra épül [176, 297].

26. TALÁLKOZÁS A találkozás időpontja (kb. 590 millió éve) az újabb molekulárisóra-adatokra épül, és nagyjából megfelel a fosszilis adatoknak [291]. Az összájúak törzsfáját nemrégiben vizsgálták át [3]: itt a genetikára és morfológiára épülő egyetlen általános sémát követtünk [103]. Három ág egy csoportba sorolt több törzsből áll. Ezek: a Cephalorhyncha [103], a Gnathifera [162] (beleértve az Acanthocephalát és a Myzostomidát), valamint a Brachiozoa (Phoronida és Brachiopoda). Az Edysozoa törzsfa viszonylag szilárd [103]: a főbb bizonytalanságot az Onychophora/Arthropoda csoportosítás és az itt a morfológiai/genetikai adatok alapján [224] elhelyezett Chaetognatha alapbesorolása okozza. Sok Edysozoa-időpontot korlátoznak a „kishéjas" Onychophora-következtek (lásd *A bársonyféreg meséjét*). A Lophotrochozoa elágazási sorrendje sokkal bizonytalanabb: az Annelida/Mollusca/Sipunculida csoport szilárd [224], és a nemerteák talán testvércsoportjuk [290], míg a többiek elágazási sorrendje bizonytalan.

27. TALÁLKOZÁS A törzsfa molekuláris adatokra épül [247, 283]. Ezek gyakran gyengén alátámasztják az Acoela parafiletikusságát, de a morfológiai adatok az Acoela monofiletikusságát húzzák erősen alá: az elágazások időpontjai így esetlegesek. A találkozási időpontok a genetikai távolságbecslésre épülnek [247, 283], amely az összájú/újszájú szakadást 590 millió évvel, míg a bilateria/cnidaria hasadást 700 millió évvel ezelőttre teszi.

28. és 29. TALÁLKOZÁS A Cnidaria és Ctenophora elágazási sorrendje még bizonytalan [35]. Bizonyos molekuláris adatok gyengén alátámasztják az itt bemutatott sorrendet [191]. A genetikai eredmények [50] időskálára kalibrált, itt is alkalmazott és ma már elfogadott időpontjait használjuk a Cnidaria törzsfáján belül.

30. TALÁLKOZÁS A *Trichoplax* elhelyezése bizonytalan [35], de feltehetően a Metazoa közelében van [Peter Holland személyes közlése].

31. TALÁLKOZÁS A szivacsokat általában alapmetazoaként értelmezik, bár a molekuláris adatok olykor esetleges parafiletikusságukra utalnak [191]. A 800 millió éves találkozás időpont az 590 millió évre helyezett összájú/újszájú elválás alapján újrakalibrált molekulárisóra-adatokra [211] épül: ez ellentmond a fosszilis szivacstüskék felső prekambrium előtti hiányának, bár ezek származékos jelleget is képviselhetnek.

32. és 33. TALÁLKOZÁS A találkozások időpontjait molekuláris fák [166, 191] közelítő becslésével adtuk meg, feltételezve, hogy a 31. találkozás 800 millió, a 34. pedig 1100 millió éve játszódott le. A Mesomycetozoea (Ichthyosporea) helyzetét [231] a (kevésbé hosszú) RNS-szekvenciák [191] helyett mtDNS-szekvenciákra [166] alapoztuk.

34. TALÁLKOZÁS Gyakran érvelnek a találkozás 1100 millió évvel ezelőtti időpontja mellett [91, 244] (de ez feltehetően nem különösebben szilárd). Újabb molekuláris vizsgálatok a Microsporidiát a Fungiba helyezik [149], feltehetően az alap közelébe [13]. A morfológia és a genetika az Ascomycotát és a Basidiomycotát tartják egymás legközelebbi rokonainak, míg az rDNS a Glomeromycotát mindkettő testvércsoportjaként jelöli ki [256] úgy, hogy korábban (az itt látható módon) két vagy több parafiletikus 'zygomycetes' ágazott le belőle. Az elágazások időpontjai az itt használt többi időponthoz igazított molekuláris adatokból fakadnak [133].

35. TALÁLKOZÁS A legtöbb amőbának és nyálkapenésznek a Metazoa+Fungi testvércsoportjaként való besorolása jelentős molekuláris támaszra talál [13, 43], bár az eukarióta fa nem hagyományos módon való legyökereztetése a 34., 35., 36. és 37. találkozást

egyetlen találkozásokra omlaszthatja össze [43]. Az elágazási időpontokat önkényesen a két szomszédos csomópont közti táv felénél jelöltük meg.

36. TALÁLKOZÁS A riboszomális RNS-adatok ma a növényeknek az állatokkal és a gombákkal egy csoportba sorolását tévesnek mutatják [13, 113]. A 37. találkozás szövegében kifejtetteknek megfelelően a növények elhelyezése az eukarióta törzsfán bizonytalan, és az itt elfogadott megoldás is némiképp önkényes. Az 1200 millió éves fosszilis adatok [38, de *lásd:* 42] alapján korlátozott 1300 millió éves találkozás időpont nagyjából megfelel a molekulárisóra-adatoknak [pl. 91]. A növényeken belül a törzsfa és a relatív időpontok molekuláris adatokból származnak [203], bár a vörösalgák idesorolását olykor vitatják [214].

37. TALÁLKOZÁS A főbb eukarióta csoportok elágazási sorrendje és időpontja bizonytalan [13] (ezért az itt bemutatott politómia). A riboszomális RNS-vizsgálatok a hosszú ág vonzás miatt tévesen helyeznek különböző csoportokat korán leváló ágak közé; a módosított fákon csak az eukarióta ágak vannak messze az Archaeától [113], amely a 38. találkozásnál jóval későbbi eltérést feltételez; a 37–39. találkozások legközelebb 500 millió évre eshettek egymástól.

38. TALÁLKOZÁS A találkozás időpontja bizonytalan: a molekuláris adatok durván 2 milliárd évvel ezelőttre helyezik [pl. 91, de *lásd:* 42]. Az elágazások időpontja és a (hagyományos) törzsfa rRNS-vizsgálatokra [pl. 16] épülő becslés.

39. TALÁLKOZÁS A fát alapvetően nehéz legyökereztetni, mivel nincs különálló csoport, és mivel az egyes leszármazási vonalak eltérő mutációs aránya önmagában is elhomályosítja a fa „központját". Gyakran az Archaea és az Eubacteria közé teszik a gyökeret („A" kereszt), de létezik más lehetőség is („B" kereszt) [42], [113], és az itt bemutatott gyökértelen. A gyökereztetés változásai befolyásolják az átfogó águhosszúságot, így ezek igazából nem képviselhetnek időt, ezért bizonyos mértékben önkényesek. Az eubaktériumok törzsfája szilárd biokémiai tulajdonságokra (pl. sejtfal glükoprotein) és ritka genetikai eseményekre (pl. beszúrás-törlés) [42, 117] épülnek. A rRNS-fákkal hosszú ágvonzás problémák lehetnek, de azt jelzik, hogy a baktériumokon belül mély eltérések vannak [113]. A bakteriális DNS-csere miatt egyetlen fa felépítése kérdéses, hacsak nincs egy nem kicserélődött génekből álló mag [64].

Köz-ős-rekonstrukciók

Malcolm Godwin közös ős rekonstrukcióinak az a célja, hogy átfogó benyomást nyújtsanak az egyes közös ősök jelenlegi tudományos ismereteinkre épülő, feltételezhető külleméről és lakóhelyéről. A nem váz jellegű vonások (például a szőr vagy a bőr színe) elkerülhetetlenül jelentős mértékben a találgatásra épülnek. Henry Bennett-Clark, Tom Cavalier-Smith, Hugh Dickinson, William Hawthorne, Peter Holland, Tom Kemp, Anna Nekaris, Marcello Ruta, Mark Sutton és Keith Thomson sok tanácsot adtak a rekonstrukciókhoz, de a végső képekért nem terheli őket felelősség: az értelmezés esetleges hibáiért kizárólag én vagyok felelős.

1. KÖZ-ŐS A közös ős összességében meglehetősen csimpánzszerű lehetett [20]. Talán kismérvű ivari dimorfizmus jellemezte (szemfogakban és testfelépítésben, bár *lásd* [236]), az alkalmi két lábon járás képessége mellett a csuklóin támaszkodva járt [238], eszközt használt (talán az intraspecifikus harcokban), elsősorban gyümölcsön élt, levelekkel kiegészítve, főként a látásra támaszkodott, de az embernél nagyobb súly esett a szaglásra is, hangadással kommunikált, és a nem emberszabásúakhoz képest megritkult a szőrzete (különösen a hátán). Talán rokon egyedekből álló kis csoportokban az afrikai erdőkben élt.

3. KÖZ-ŐS Nagy termetű, négy lábon járó erdei emberszabású [20], amely vélhetően Ázsiában élt [273]. Az arca kevésbé előreálló, mint az orangutáné, szemgödrei kerekebbek és tágabbra nyíltak (a miocén kori emberszabásúból, az *Ankarapithecus*ból következtethetően). A mellső végtagok függeszkedők, bár nem annyira, mint az orangutánnál; a helyváltoztatás hasonló a *Nasalis* nevű ormányos majomhoz. Vegyük figyelembe a homlokereszt, a kiálló glabellát, az enkefalizáció viszonylag magas fokát, a túlnyomóan gyümölcsre épülő étrendet, valamint a (gibbonokhoz és az óvilági majmokhoz képest) megnagyobbodott emlőket és az ívelt ebb orsócsontot [116].

5. KÖZ-ŐS Nagyrészt az oligocén Propliopithecida főemlősére, az *Aegyptopithecus*ra épül. Gyümölcsevő volt, fákon, az ágak felső szintjén élt, mérsékelten hosszú ormánya, meredek arcéle, hosszú farka, lefelé álló orrlyukai és farka volt, szemfoga ivari dimorfizmusról árulkodott. Talán csoportosan élt.

8. KÖZ-ŐS Adapida- és Omomyida-kövületekre épül. Valószínűleg 1–4 kg-os volt, éjszakai vagy (nagyobb valószínűséggel) nappali és éjszakai életmódot is folytatott. Figyeljük meg az előreszegeződő, gyümölcsöt és/vagy rovarokat fürkésző szemeket [134], a rövid bajuszt, a Strepsirhini típusú orrot és a kis szélső ágakon mászásra alkalmas, kapaszkodó kezeket és lábakat [128], melyeken inkább körmök, semmint karmok vannak [26].

13. KÖZ-ŐS Az alsó kréta kor méhlepényes *Eomaia*ja alapján [144]. Figyeljük meg karmait és rovarevő, éjszakai, az alacsony ágakon mászó életmódját.

16. KÖZ-ŐS Távolról a felső karbon kori magzatburkos *Hylonomus*ra épül [40]. Figyeljük meg a robusztus koponyát és a rovarok elfogására alkalmas szegszerű fogakat, a dobhártyát, a pikkelymorfológiai változatokat a testen, a lábujjak eltéréseit és a magzatburkos tojásokat.

17. KÖZ-ŐS Részben az alsó karbon kori négylábú *Balanerpeton*ra épül [198]. Figyeljük meg a kidülledő szemeket, a dobhártyát, a barázdált izomkötegeket, az 1:3:3-as fej-test-farok arányt. Bár néhány fosszilis kétéltűnek a végtagjain kevesebb ujj volt, tekintettel az ujjak visszanyerésének nehézségeire, a legvalószínűbb, hogy a köz-ősnek öt ujja volt. A bőrszín sötétebb, mint sok ma élő kétéltűnél, mivel a szárazföldi ragadozók elleni figyelmeztető színre talán nem volt szükség.

18. KÖZ-ŐS Az alsó devon kori rhipidistianus *Styloichthys* [326] alapján. Figyeljük meg a bojtos úszót, a fejpajzsot, az oldalvonalat és a heterocerkális farkat.

23. KÖZ-ŐS Hasonlít a lándzsahalra, csak a gerinchúr nem éri el a rostrumot, és hiányzik a specializált kerékszerv. Figyeljük meg a pigmentfoltszemet, a kopoltyúíveket, a gerinchúrt, a myomereket (V alakú izomnyalábok) és az átriumot (a törzs alatti zárt üreg).

26. KÖZ-ŐS Kétoldali szimmetriájú féreg, fejvéggel és a testet átszelő bélcsatornával. Figyeljük meg a szemeket, a táplálkozó szájszervet, az ismétlődő részekből (de nem valódi szelvényekből) álló testet és a mérsékelt fokú testdiszítést.

31. KÖZ-ŐS Vélhetőleg egy kifelé néző (a szivacsembrióhoz hasonló) galléros ostoros sejtekből álló üreges golyó volt [248]. Az ostort mozgásra és a táplálékrészecskéknek a „gallérba" terelésére használta. Figyeljük meg a sejtszakosodást: ivaros szaporodás petesejt és szabadon úszó spermiumok révén. Ezt az őst a szivacsembrióhoz hasonló, nyílt vízi életmód mellett képzeltük el.

36. KÖZ-ŐS Jellegzetes egysejtű eukarióta, innét a mindent átható mikrocsöves sejtváz, a cilium (eukarióta „ostor"), amely a mikrocsövességet szervező központként működő centriolához (alaptest) kapcsolódik, a porózus szerkezetű sejtmag, amelyet cytosollá alakuló, az apró riboszómáktól szemcsés megjelenésű, durva endoplazmatikus reticulum perforált lemezek vesznek körül. Ugyancsak figyeljük meg a csöves cristaevel ellátott mitokondriumokat, a kisszámú peroxiszómát, a többi sejtedényt, valamint az ostor és a rövid állábak együttműködésére épülő mozgást.

39. KÖZ-ŐS Nagyjából olyan, mint egy „rendes" baktérium. Figyeljük meg a „körkörös" kromoszómát alkotó DNS-kötegeket, a cytosol magas riboszómatartalmát, valamint a kettéosztódást.

IRODALOM

[A szögletes zárójelben lévő számokat adtuk meg a képfeliratokban, a jegyzetekben és a tárgymutatóban.]

[1] Adams, D. (1987) *Dirk Gently's Holistic Detective Agency*. William Heinemann, London.

[2] Adams, D. – Carwardine, M. (1991) *Last Chance to See*. Pan Book, London, 2. kiad.

[3] Aguinaldo, A. M. A. – Turbeville, J. M. – Linford, L. S. *et al.* (1997) Evidence for a clade of nematodes, arthropods and other moulting animals. *Nature* **387:** 489–493.

[4] Ahlberg, P. E. – Milner, A. R. (2000/1994) The origin and early diversification of tetrapods. In *Shaking the Tree: Readings from Nature in the History of Life* (Gee, H. szerk.). University of Chicago Press, Chicago (Eredetileg megjelent: *Nature* **368:** 507–514).

[5] Alexander, R. D. – Hoogland, J. L. – Howard, R. D. *et al.* (1979) Sexual dimorphisms and breeding systems in pinnipeds, ungulates, primates, and humans. In *Evolutionary Biology and Human Social Behaviour: An Anthropological Perspective* (Chagnon, N. A. – Irons, W. szerk.), pp. 402–435, Duxbury Press, North Scituate, Mass.

[6] *Arabian Nights, The* (1885) (ford. Burton, R. F.). The Kamashastra Society, Benares.

[7] Archibald, J. D. (2003) Timing and biogeography of the eutherian radiation: Fossils and molecules compared. *Molecular Phylogenetics and Evolution* **28:** 350–359.

[8] Aris-Brosou, S. – Yang, Z. (2003) Bayesian models of episodic evolution support a late Precambrian explosive diversification of the Metazoa. *Molecular Biology and Evolution* **20:** 1947–1954.

[9] Arrese, C. A. – Hart, N. S. – Thomas, N. *et al.* (2002) Trichromacy in Australian marsupials. *Current Biology* **12:** 657–660.

[10] Ayala, F. J. – Rzhetsky, A. – Ayala, F. J. (1998) Origin of the metazoan phyla: Molecular clocks confirm paleontological estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **95:** 606–611.

[11] Bada, J. L. – Lazcano, A. (2003) Prebiotic soup – revisiting the Miller experiment. *Science* **300:** 745–746.

[12] Bakker, R. (1986) *The Dinosaur Heresies: A Revolutionary View of Dinosaurs*. Longman Scientific and Technical, Harlow.

[13] Baldauf, S. L. (2003) The deep roots of eukaryotes. *Science* **300:** 1703–1706.

[14] Baldwin, J. M. (1896) A new factor in evolution. *American Naturalist* **30:** 441–451.

[15] Barlow, G. W. (2002) *The Cichlid Fishes: Nature's Grand Experiment in Evolution*. Perseus Publishing, Cambridge.

[16] Barns, S. M. – Delwiche, C. F. – Palmer, J. D. – Pace, N. R. (1996) Perspectives on archaeal diversity, thermophily and monophyly from environmental rRNA sequences. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **93:** 9188–9193.

[17] Bateson, P. P. G. (1976) Specificity and the origins of behavior. In *Advances in the Study of Behavior* (Rosenblatt, J. – Hinde, R. A. – Beer, C. szerk.), 6.kötet, pp. 1–20. Academic Press, New York.

[18] Bateson, W. (1894) *Materials for the Study of Variation Treated with Especial Regard to Discontinuity in the Origin of Species*. Macmillan and Co., London.

[19] Bauer, M. – von Halversen, O. (1987) Separate localization of sound recognizing and sound producing neural mechanisms in a grasshopper. *Journal of Comparative Physiology A* **161:** 95–101.

[20] Begun, D. R. (1999) Hominid family values: Morphological and molecular data on relations among the great apes and humans. In *The Mentalities of Gorillas and Orangutans* (Parker, S. T. – Mitchell, R. W. – Miles, H. L. szerk.) 1. fej. pp. 3–42, Cambridge University Press, Cambridge.

[21] Bell, G. (1982) *The Masterpiece of Nature: The Evolution and Genetics of Sexuality*. Croom Helm, London.

[22] Belloc, H. (1999) *Complete Verse*. Random House Children's Books, London.

[23] Betzig, L. (1995) Medieval monogamy. *Journal of Family History* **20:** 181–216.

[24] Blackmore, S. (1999) *The Meme Machine*. Oxford University Press, Oxford.

[25] Blair, W. F. (1955) Mating call and stage of speciation in the *Microhyla olivacea – M. carolinensis* complex. *Evolution* **9:** 469–480.

[26] Bloch, J. I. – Boyer, D. M. (2002) Grasping primate origins. *Science* **298:** 1606–1610.

[27] Bonner, J. T. (1993) *Life Cycles: Reflections of an Evolutionary Biologist*. Princeton University Press, Princeton.

[28] Bourlat, S. J. Nielsen, C. – Lockyer, A. E. *et al.* (2003) *Xenoturbella* is a deuterostome that eats molluscs. *Nature* **424:** 925–928.

[29] Brasier, M. D. – Green, O. R. – Jephcoat, A. P. *et al.* (2002) Questioning the evidence for earth's oldest fossils. *Nature* **416:** 76–81.

[30] Briggs, D. – Erwin, D. – Collier, F. (1994) *The Fossils of the Burgess Shale*. Smithsonian Institution Press, Washington DC.

[31] Briggs, D. E. G. – Fortey, R. A. (nyomdában) Wonderful strife – systematics, stem groups and the phylogenetic signal of the Cambrian radiation. *Paleobiology*.

[32] Bromham, L. – Degnan, B. M. (1999) Hemichordates and deuterostome evolution: Robust molecular phylogenetic support for a hemichordate + echinoderm clade. *Evolution and Development* **1:** 166–171.

[33] Bromham, L. – Penny, D. (2003) The modern molecular clock. *Nature Reviews Genetics* **4:** 216– 224.

[34] Bromham, L. – Woolfit, M. – Lee, M. S. Y. – Rambaut, A. (2002) Testing the relationship between morphological and molecular rates of change along phylogenies. *Evolution* **56:** 1921–1930.

[35] Brooke, N. M. – Holland, P. W. H. (2003) The evolution of multicellularity and early animal genomes. *Current Opinion in Genetics and Development* **13:** 599–603.

[36] Brunet, M. – Guy, F. – Pilbeam, D. *et al.* (2002) A new hominid from the Upper Miocene of Chad, central Africa. *Nature* **418:** 145–151.

[37] Buchsbaum, R. (1987) *Animals without Backbones*. University of Chicago Press, Chicago, 3. kiad.

[38] Butterfield, N. J. (2001) Paleobiology of the late Mesoproterozoic (ca. 1200 Ma) Hunting Formation, Somerset Island, arctic Canada. *Precambrian Research* **111:** 235–256.

[39] Cairns-Smith, A. G. (1985) *Seven Clues to the Origin of Life*. Cambridge University Press, Cambridge.

[40] Carroll, R. L. (1988) *Vertebrate Paleontology and Evolution*. W. H. Freeman, New York.

[41] Catania, K. C. – Kaas, J. H. (1997) Somatosensory fovea in the star-nosed mole: Behavioral use of the star in relation to innervation patterns and cortical representation. *Journal of Comparative Neurology* **387:** 215–233.

[42] Cavalier-Smith, T. (2002) The neomuran origin of archaebacteria, the negibacterial root of the universal tree and bacterial megaclassification. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* **52:** 7–76.

[43] Cavalier-Smith, T. – Chao, E. E. Y. (2003) Phylogeny of Choanozoa, Apusozoa, and other Protozoa and early eukaryote megaevolution. *Journal of Molecular Evolution* **56:** 540–563.

[44] Censky, E. J. – Hodge, K. – Dudley, J. (1998) Overwater dispersal of lizards due to hurricanes. *Nature* **395:** 556.

[45] Chang, J. T. (1999) Recent common ancestors of all present-day individuals. *Advances in Applied Probability* **31:** 1002–1026.

[46] Chaucer, G. (2000) *Chaucer: The General Prologue on CD-ROM* (Solopova, E. szerk.) Cambridge University Press, Cambridge.

[47] Clack, J. (2002) *Gaining Ground: The Origin and Evolution of Tetrapods*. Indiana University Press, Bloomington.

[48] Clarke, R. J. (1998) First ever discovery of a well-preserved skull and associated skeleton of *Australopithecus*. *South African Journal of Science* **94:** 460–463.

[49] Cleveland, L. R. – Grimstone, A. V. (1964) The fine structure of the flagellate *Mixotricha paradoxa* and its associated microorganisms. *Proceedings of the Royal Society of London: Series B* **159:** 668–686.

[50] Collins, A. G. (2002) Phylogeny of medusozoa and the evolution of cnidarian life cycles. *Journal of Evolutionary Biology* **15:** 418–432.

[51] Conway Morris, S. (1998) *The Crucible of Creation: The Burgess Shale and the Rise of Animals*. Oxford University Press, Oxford.

[52] Conway-Morris, S. (2003) *Life's Solution: Inevitable Humans in a Lonely Universe*. Cambridge University Press, Cambridge.

[53] Cooper, A. – Fortey, R. (1998) Evolutionary explosions and the phylogenetic fuse. *Trends in Ecology and Evolution*. **13:** 151–156.
[54] Coppens, Y. (1994) East side story: The origin of humankind. *Scientific American* **271** (May): 88–95.
[55] Cott, H. B. (1940) *Adaptive Coloration in Animals*. Methuen, London.
[56] Crick, F. H. C. (1981) *Life Itself: Its Origin and Nature*. Macdonald, London.
[57] Crockford, S. (2002) *Dog Evolution: A Role for Thyroid Hormone Physiology in Domestication Changes*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
[58] Cronin, H. (1991) *The Ant and the Peacock: Altruism and Sexual Selection from Darwin to Today*. Cambridge University Press, Cambridge.
[59] Darwin, C. (1860/1859) *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*. John Murray, London.
[60] Darwin, C. (1987/1842) *The Geology of the Voyage of HMS Beagle: The Structure and Distribution of Coral Reefs*. New York University Press, New York.
[61] Darwin, C. (2002/1839) *The Voyage of the Beagle*. Dover Publications, New York.
[62] Darwin, C. (2003/1871) *The Descent of Man*. Gibson Square Books, London.
[63] Darwin, F. (szerk.) (1888) *The Life And Letters of Charles Darwin*. John Murray, London.
[64] Daubin, V. – Gouy, M. – Perrière, G. (2002) A phylogenomic approach to bacterial phylogeny: evidence for a core of genes sharing common history. *Genome Research* **12:** 1080–1090.
[65] Davies, P. (1999) *The Fifth Miracle: The Search for the Origin of Life*. Allen Lane, The Penguin Press, London.
[66] Dawkins, R. (1982) *The Extended Phenotype*. W. H. Freeman, Oxford.
[67] Dawkins, R. (1986) *The Blind Watchmaker*. Longman, London.
[68] Dawkins, R. (1989) The evolution of evolvability. In *Artificial Life* (Langton, C. szerk.), pp. 201–220, Addison-Wesley, New York.
[69] Dawkins, R. (1989) *The Selfish Gene*. Oxford University Press, Oxford, 2. kiad.
[70] Dawkins, R. (1995) *River Out of Eden*. Weidenfeld & Nicolson, London.
[71] Dawkins, R. (1996) *Climbing Mount Improbable*. Viking, London.
[72] Dawkins, R. (1998) *Unweaving the Rainbow*. Penguin, London.
[73] Dawkins, R. (2003) *A Devil's Chaplain*. Weidenfeld & Nicolson, London.
[74] Dawkins, R. – Krebs, J. R. [1979] Arms races between and within species. *Proceedings of the Royal Society of London: Series B* **205:** 489–511.
[75] de Carvalho, M. R. (1996) Higher-level elasmobranch phylogeny, basal squaleans, and paraphyly. In *Interrelationship of Fishes* (Stiassny, M. L. J. – Parenti, L. R. – Johnsson, G. D. szerk.) pp. 35–62. Academic Press, San Diego.
[76] de Morgan, A. (2003/1866) *A Budget of Paradoxes*. The Thoemmes Library, Poole, Dorset.
[77] de Waal, F. (1995) Bonobo sex and society. *Scientific American* **272** (March): 82–88.
[78] de Waal, F. (1997) *Bonobo: The Forgotten Ape*. University of California Press, Berkeley.
[79] Dennett, D. (1991) *Consciousness Explained*. Little Brown, Boston.
[80] Dennett, D. (1995) *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meaning of Life*. Simon – Schuster, New York.
[81] Deutsch, D. (1997) *The Fabric of Reality*. Allen Lane, The Penguin Press, London.
[82] Diamond, J. (1991) *The Rise and Fall of the Third Chimpanzee*. Radius, London.
[83] Dixon, D. (1981) *After Man: A Zoology of the Future*. Granada, London.
[84] Drayton, M. (1931–1941) *The Works of Michael Drayton*. Blackwell, Oxford.
[85] Dudley, L. W. – Lambert, R. J. (1992) Ninety generations of selection for oil and protein in maize. *Maydica* **37:** 96–119.
[86] Dulai, K. S. – von Dornum, M. – Mollon, J. D. – Hunt, D. M. (1999) The evolution of trichromatic colour vision by opsin gene duplication in New World and Old World primates. *Genome Research* **9:** 629–638.
[87] Durham, W. H. (1991) *Coevolution: Genes, Culture and Human Diversity*. Stanford University Press, Stanford.
[88] Dyson, F. J. (1999) *Origins of Life*. Cambridge University Press, Cambridge, 2. kiad.
[89] Edwards, A. W. F. (2003) Human genetic diversity: Lewontin's fallacy. *BioEssays* **25:** 798–801.
[90] Eigen, M. (1992) *Steps Towards Life: A Perspective on Evolution*. Oxford University Press, Oxford.
[91] Feng, D.-F. – Cho, G. – Doolittle, R. F. (1997) Determining divergence times with a protein clock: Update and reevaluation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **94:** 13028–13033.
[92] Ferrier, D. E. K. – Holland, P. W. H. (2001) Ancient origin of the Hox gene cluster. *Nature Review Genetics* **2:** 33–38.
[93] Ferrier, D. E. K. – Minguillón, C. – Holland, P. W. H. – Garcia-Fernàndez, J. (2000) The amphioxus Hox cluster: Deuterostome posterior flexibility and *Hox14*. *Evolution and Development* **2:** 284–293.
[94] Fisher, R. A. (1999/1930) The *Genetical Theory of Natural Selection: A Complete Variorum Edition*. Oxford University Press, Oxford.
[95] Fogle, B. (1993) *101 Questions Your Dog Would Ask Its Vet*. Michael Joshep, London.
[96] Fortey, R. (1997) Life: *An Unauthorised Bibliography: A Natural History of the First Four Thousand Million Years of Life on Earth*. HarperCollins, London.
[97] Furlong, R. F. – Holland, P. W. H. (2002) Bayesian phylogenetic analysis supports monophyly of Ambulacraria and of cyclostomes. *Zoological Science* **19:** 593–599.
[98] Furnes, H. – Banerjee, N. R. – Muehlenbachs, K. *et al.* (2004) Early life recorded in Archean pillow larvas. *Science* **304:** 578–581.
[99] Garstang, W. (1951) *Larval forms and other zoological verses by the late Walter Garstang* (Hardy, A. C. szerk.). Blackwell, Oxford.
[100] Geissmann, T. (2002) Taxonomy and evolution of gibbons. *Evolutionary Anthropology* **11, Kiegészítés 1:** 28–31.
[101] Georgy, S. T. – Widdicombe, J. G. – Young, V. (2002) The pyrophysiology and sexuality of dragons. *Respiratory Physiology – Neurobiology* **133:** 3–10.
[102] Gibbs, S. – Collard, M. – Wood, B. (2002) Soft-tissue anatomy of the extant hominoids: a review and phylogenetic analysis. *Journal of Anatomy* **200:** 3–49.
[103] Giribet, G. (2002) Current advances in the phylogenetic reconstruction of metazoan evolution. A new paradigm for the Cambrian explosion? *Molecular Phylogenetics and Evolution* **24:** 345–357.
[104] Gold, T. (1992) The deep, hot biosphere. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **89:** 6045–6049.
[105] Goodman, M. – Porter, C. A. – Cuelusniak, J. *et al.* (1998) Toward a phylogenetic classification of primates based on DNA evidence complemented by fossil evidence. *Molecular Phylogenetics and Evolution* **9:** 585–598.
[106] Gould, S. J. (1977) *Ontogeny and Phylogeny*. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Mass.
[107] Gould, S. J. (1985) *The Flamingo's Smile: Reflections in Natural History*. Norton. New York.
[108] Gould, S. J. (1989) *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History*. Hutchinson Radius, London.
[109] Gould, S. J. – Calloway, C. B. (1980) Clams and brachiopods: ships that pass in the night. *Paleobiology* **6:** 383–396.
[110] Grafen, A. (1990) Sexual selection unhandicapped by the Fisher process. *Journal of Theoretical Biology* **144:** 473–516.
[111] Grant, P. R. (1999/1986) *Ecology and Evolution of Darwin's Finches*. Princeton University Press, Princeton, revised edn.
[112] Graur, D. – Martin, W. (2004) Reading the entrails of chickens: Molecular timescales of evolution and the illusion of precision. *Trends In Genetics* **20:** 80–86.
[113] Gribaldo, S. – Philippe, H. (2002) Ancient phylogenetic relationships. *Theoretical Population Biology* **61:** 391–408.
[114] Gribbin, J. – Cherfas, J. (1982) *The Monkey Puzzle*. The Bodley Head, London.
[115] Gribbin, J. – Cherfas, J. (2001) *The First Chimpanzee: In Search of Human Origins*. Penguin, London.
[116] Groves, C. P. (1986) Systematics of the great apes. In *Systematics, Evolution, and Anatomy* (Swindler, D. R. – Erwin, J. szerk.), *Comparative Primate Biology*, vol. 1, pp. 186–217, Alan R. Liss, New York.
[117] Gupta, R. S. – Griffeths, E. (2002) Critical issues in bacterial phylogeny. *Theoretical Population Biology* **61:** 423–434.
[118] Hadzi, J. (1963) *The Evolution of the Metazoa*. Pergamon Press, Oxford.
[119] Haeckel, E. (1866) *Generelle Morphologie der Organismen*. Georg Reimer, Berlin.
[120] Haeckel, E. (1899–1904) *Kunstformen der Natur*.
[121] Haig, D. (1993) Genetic conflicts in human pregnancy. *The Quarterly Review of Biology* **68:** 495–532.

[122] Haldane, J. B. S. (1952) Introducing Douglas Spalding. *British Journal for Animal Behaviour* **2:** 1.
[123] Haldane, J. B. S. (1985) *On Being the Right Size and Other Essays* (Maynard Smith, J. szerk.). Oxford University Press, Oxford.
[124] Halder, G. – Callaerts, P. – Gehring, W. J. (1995) Induction of ectopic eyes by targeted expression of the *eyeless* gene in *Drosophila*. *Science* **267:** 1788–1792.
[125] Hallam, A. – Wignall, P. B. (1997) *Mass Extinctions and their Aftermath*. Oxford University Press, Oxford.
[126] Hamilton, W. D. (2001) *Narrow Roads of Gene Land*, 2. köt. Oxford University Press, Oxford.
[127] Hamilton, W. D. (elõkészületben) *Narrow Roads of Gene Land*, 3. köt. Oxford University Press, Oxford.
[128] Hamrick, M. W. (2001) Primate origins: Evolutionary change in digital ray patterning and segmentation. *Journal of Human Evolution* **40:** 339–351.
[129] Harcourt, A. H. – Harvey, P. H. – Larson, S. G. – Short, R. V. (1981) Testis weight, body weight and breeding system in primates. *Nature* **293:** 55–57.
[130] Hardy, A. (1965) *The Living Stream*. Collins, London.
[131] Hardy, A. C. (1954) The escape from specialization. In *Evolution as a Process*. (Huxley, J. – Hardy, A. C. – Ford, E. B. szerk.), Allen and Unwin, London. 1. kiad.
[132] Harvey, P. H. – Pagel, M. D. (1991) *The Comparative Method in Evolutionary Biology*. Oxford University Press, Oxford.
[133] Heckman, D. S. – Geiser, D. M. – Eidell, B. R. *et al.* (2001) Molecular evidence for the early colonization of land by fungi and plants. *Science* **293:** 1129–1133.
[134] Heesy, C. P. – Ross, C. F. (2001) Evolution of activity patterns and chromatic vision in primates: Morphometrics, genetics and cladistics. *Journal of Human Evolution* **40:** 111–149.
[135] Home, E. (1802) A description of the anatomy of the *Ornithorhynchus paradoxus*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **92:** 67–84.
[136] Hou, X.-G. – Aldridge, R. J. – Bergstrom, J. *et al.* (2004) *The Cambrian Fossils of Chengjiang, China: The Flowering of Early Animal Life*. Blackwell Science, Oxford.
[137] Huchon, D. – Madsen, O. – Sibbald, M. J. J. B. *et al.* (2002) Rodent phylogeny and a timescale for the evolution of Glires: Evidence from an extensive taxon sampling using three nuclear genes. *Molecular Biology and Evolution* **19:** 1053–1065.
[138] Hume, D. (1957/1757) *The Natural History of Religion* (Root, H. E. – 1. kiad. Stanford University Press, Stanford.
[139] Huxley, A. (1939) *After Many a Summer*. Chatto and Windus, London.
[140] Huxley, T. H. (2001/1836) *Man's Place in Nature*. Random House USA, New York.
[141] Inoue, J. G. – Masaki, M. – Tsukamoto, K. – Nishida, M. (2003) Basal actinopterygian relationships: A mitogenomic perspective on the phylogeny of the 'ancient fish'. *Molecular Phylogenetics and Evolution* **26:** 110–120.
[142] Jeffery, W. R. – Martasian, D. P. (1998) Evolution of eye regression in the cavefish *Astyanax*: Apoptosis and the *Pax-6* gene. *American Zoology* **38:** 685–696.
[143] Jerison, H. J. (1973) *Evolution of the Brain and Intelligence*. Academic Press, New York.
[144] Ji, Q. – Luo, Z.-X. – Yuan, C.-X. *et al.* (2002) The earliest known eutherian mammal. *Nature* **416:** 816–822.
[145] Johanson, D. C. – Edey, M. A. (1981) *Lucy: The Beginnings of Humankind*. Grenada, London.
[146] Jones, S. (1993) *The Language of the Genes: Biology, History and the Evolutionary Future*. HarperCollins, London.
[147] Judson, O. (2002) *Dr. Tatiana's Sex Advice to all Creation*. Metropolitan Books, New York.
[148] Kauffman, S. A. (1985) Self-organization, selective adaptation, and its limits. In *Evolution at a Crossroads* (Depew, D. J. – Weber, B. H. szerk.) pp. 169–207. MIT Press, Cambridge, Mass.
[149] Keeling, P. J. – Fast, N. M. (2002) Microsporidia: Biology and evolution of highly reduced intracellular parasites. *Annual Review of Microbiology* **56:** 93–116.
[150] Kemp, T. S. (1982) *Mammal-like reptiles and the origin of mammals*. Academic Press, London.
[151] Kemp, T. S. (1982) The reptiles that became mammals. *New Scientist* **93:** 581–584.
[152] Kimura, M. (1994) *Population Genetics, Molecular Evolution and the Neutral Theory* (Takahata, N. szerk.), University of Chicago Press, Chicago.
[153] Kingdon, J. (1990) *Island Africa*. Collins, London.
[154] Kingdon, J. (2003) *Lowly Origin: Where, When and Why our Ancestors First Stood Up*. Princeton University Press, Princeton/Oxford.
[155] Kingsley, C. (1995/1863) *The Water Babies*. Puffin, London.
[156] Kipling, R. (1995/1906) *Puck of Pook's Hill*. Penguin, London.
[157] Kirschner, M. – Gerhart, J. (1998) Evolvability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **95:** 8420–8427.
[157] Kittler, R. – Kayser, M. – Stoneking, M. (2003) Molecular evolution of *Pediculus humanus* and the origin of clothing. *Current Biology* **13:** 1414–1417.
[159] Klein, R. G. (1999) *The Human Career: Human Biological and Cultural Origins*. Chicago University Press, Chicago/London, 2. kiad.
[160] Kortlandt, A. (1972) *New Perspectives on Ape and Human Evolution*. Stichting voor Psychobiologie, Amsterdam.
[161] Krings, M. – Stone, A. – Schmitz, R. W. *et al.* [1997] Neanderthal DNA sequences and the origin of modern humans. *Cell* **90:** 19–30.
[162] Kristensen, R. M. (2002) An introduction to Loricifera, Cycliophora, and Micrognathozoa. *Integrative and Comparative Biology* **42:** 641–651.
[163] Kruuk, H. (2003) *Niko's Nature*. Oxford University Press, Oxford.
[164] Lack, D. (1947) *Darwin's Finches*. Cambridge University Press, Cambridge
[165] Lambourn, W. A. (1930) The remarkable adaptation by which a dipterous pupa (Tabanidae) is preserved from the dangers of fissures in drying mud. *Proceedings of the Royal Society of London: Series B* **106:** 83–87.
[166] Lang, B. F. – O'Kelly, C. – Nerad, T. *et al.* [2002] The closest unicellular relatives of animals. *Current Biology* **12:** 1773–1778.
[167] Laskey R. A. – Gurdon, J. B. (1970) Genetic content of adult somatic cells tested by nuclear transplantation from cultured cells. *Nature* **228:** 1332–1334.
[168] Leakey, M. (1987) The hominid footprints: Introduction. In *Laetoli: A Pliocene Site in Northern Tanzania* (Leakey, M. D. – Harris, J. M. szerk.). pp. 490–496. Clarendon Press, Oxford.
[169] Leakey, M. – Feibel, C. – McDougall, I. – Walker, A. (1995) New four-million-year-old hominid species from Kanapoi and Allia Bay, Kenya. *Nature* **376:** 565–571.
[170] Leakey, R. [1994] *The Origin of Humankind*. Basic Books, New York.
[171] Leakey, R. – Levin, R. (1992) *Origins Reconsidered: In Search of What Makes us Human*. Little Brown, London.
[172] Leakey, R. – Levin, R. (1996) *The Sixth Extinction: Biodiversity and its Survival*. Weidenfeld & Nicolson, London.
[173] Lewis-Williams, D. (2002) *The Mind in the Cave*. Thames and Hudson, London.
[174] Lewontin, R. C. (1972) The apportionment of human diversity. *Evolutionary Biology* **6:** 381–398.
[175] Liem, K. F. (1973) Evolutionary strategies and morphological innovations: cichlid pharyngeal jaws. *Systematic Zoology* **22:** 425–441.
[176] Littlewood, D. T. J. – Smith, A. B. – Clough, K. A. – Emson, R. H. (1997) The interrelationships of the echinoderm classes: Morphological and molecular evidence. *Biological Journal of the Linnean Society* **61:** 409–438.
[177] Liu, F. G. R. – Miyamoto, M. M. – Freire, N. P. *et al.* (2001) Molecular and morphological supertrees for eutherian (placental) mammals. *Science* **291:** 1786–1789.
[178] Lorenz, K. (2002) *Man Meets Dog*. Routledge Classics, Routledge, London.
[179] Lovejoy, C. O. (1981) The origin of man. *Science* **211:** 341–350.
[180] Luo, Z.-X. – Cifelli, R. L. – Kielan-Jaworowska, Z. (2001) Dual origin of tribosphenic mammals. *Nature* **409:** 53–57.
[181] Manger, P. R. – Pettigrew, J. D. (1995) Electroreception and feeding behaviour of the platypus (*Ornithorhynchus anatinus*: Monotremata: Mammalia). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Biological Sciences* **347:** 359–381.
[182] Marcus, G. F. – Fisher, S. E. (2003) FOXP2 in focus: what can genes tell us about speech and language? *Trends in Cognitive Sciences* **7:** 257–262.
[183] Margulis, L. (1981) *Symbiosis in Cell Evolution*. W H Freeman, San Francisco.
[184] Mark Welch, D. – Meselson, M. (2000) Evidence for the evolution of bdelloid rotifers without sexual reproduction or genetic exchange. *Science* **288:** 1211–1219.

[185] Martin, R. D. (1981) Relative brain size and basal metabolic rate in terrestial vertebrates. *Nature* **293:** 57–60.
[186] Masi, R. (2003/1983) *How to Keep Dinosaurs*. Weidenfeld – Nicholson, London.
[187] Maynard Smith, J. (1978) *The Evolution of Sex*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
[188] Maynard Smith, J. (1986) Evolution – contemplating life without sex. *Nature* **324:** 300–301.
[189] Maynard Smith, J. – Szathmáry E. (1995) *The Major Transitions in Evolution*. Oxford University Press, Oxford.
[190] Mayr, E. (1985/1982) *The Growth of Biological Thought*. Harvard University Press, Harvard.
[191] Medina, M. – Collins, A. G. – Silberman, J. D. – Sogin, M. L. (2001) Evaluating hypotheses of basal animal phylogeny using complete sequences of large and small subunit rRNA. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **98:** 9707–9712.
[192] Menotti-Raymond, M. – O'brien, S. J. (1993) Dating the genetic bottleneck of the African cheetah. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **90:** 3172–3176.
[193] Milius, S. (2000) Bdelloids: No sex for over 40 million years. *Science News* **157:** 326.
[194] Miller, G. (2000) *The Mating Mind: How Sexual Choice Shaped the Evolution of Human Nature*. Heinemann, London.
[195] Miller, K. R. (1999) *Finding Darwin's God: A Scientist's Search for Common Ground Between God and Evolution*. Cliff Street Books (HarperCollins), New York.
[196] Miller, K. R. (2004) The flagellum unspun: the collapse of 'irreducible complexity'. In *Debating Design: From Darwin to DNA* (Ruse, M. – Dembski, W. szerk.), Cambridge University Press, Cambridge.
[197] Mills, D. R. – Peterson, R. L. – Spiegelman, S. (1967) An extracellular Darwinian experiment with a self-duplicating nucleic acid molecule. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **58:** 217–224.
[198] Milner, A. R. – Sequeira, S. E. K. (1994) The temnospondyl amphibians from the Visean of East Kirkton. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences* **84:** 331–361.
[199] Miya, M. – Takeshima, H. – Endo, H. *et al.* (2003) Major patterns of higher teleostean phylogenies: A new perspective based on 100 complete mitochondrial DNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* **26:** 121–138.
[200] Mollon, J. D. – Bowmaker, J. K. – Jacobs, G. H. (1984) Variations of colour vision in a New World primate can be explained by polymorphism of retinal photopigments. *Proceedings of the Royal Society of London: Series B* **222:** 373–399.
[201] Monod, J. (1973) *Chance and Necessity: Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology*. Collins, London.
[202] Montgelard, C. – Bentz, S. – Tirard, C. *et al.* (2002) Molecular systematics of Sciurognathi (Rodentia): The mitochondrial cytochrome *b* and 12S rRNA genes support the Anomaluroidea (Pedetidae and Anomaluridae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* **22:** 220–233.
[203] Moreira, D. – Le Guyader, H. – Philippe, H. (2000) The origin of red algae and the evolution of chloroplasts. *Nature* **405:** 32–33.
[204] Morgan, E. (1997) *The Aquatic Ape Hypothesis*. Souvenir Press, London.
[205] Murata, Y. – Nikaido, M. – Sasaki, T. *et al.* (2003) Afrotherian phylogeny as inferred from complete mitochondrial genomes. *Molecular Phylogenetics and Evolution* **28:** 253–260.
[206] Murdock, G. P. (1967) *Ethnographic Atlas*. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh.
[207] Murphy, W. J. – Eizirik, E. – O'brien, S. J. *et al.* (2001) Resolution of the early placental mammal radiation using Bayesian phylogenetics. *Science* **294:** 2348–2351.
[208] Musser, A. M. (2003) Review of the monotreme fossil record and comparison of palaeontological and molecular data. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* **136:** 927–942.
[209] Nelson, J. S. (1994) *Fishes of the World*. John Wiley, New York, 3. kiad.
[210] Nesse, R. M. – Williams, G. C. (1994) *The Science of Darwinian Medicine*. Orion, London.
[211] Nikoh, N. – Iwabe, N. – Kuma, K.-I. *et al.* (1997) An estimate of divergence time of Parazoa and Eumetazoa and that of Cephalochordata and Vertebrata by aldolase and triose phosphate isomerase clocks. *Journal of Molecular Evolution* **45:** 97–106.
[212] Nilsson, M. A. – Gullberg, A. – Spotorno, A. E. *et al.* (2003) Radiation of extant marsupials after the K/T boundary: Evidence from complete mitochondrial genomes. *Journal of Molecular Evolution* **57:** S3–S12.
[213] Norman, D. (1991) *Dinosaur!* Boxtree, London.
[214] Nozaki, H. – Matsuzaki, M. – Takahara, M. *et al.* (2003) The phylogenetic position of red algae revealed by multiple nuclear genes from mitochondria-containing eukaryotes and an alternative hypothesis of the origin of plastids. *Journal of Molecular Evolution* **56:** 485–497.
[215] Ohta, T. (1992) The nearly neutral theory of molecular evolution. *Annual Review of Ecology and Systematics* **23:** 263–286.
[216] Oparin, A. L. (1938) *The Origin of Life*. Macmillan, New York.
[217] Orgel, L. E. (1998) The origin of life – a review of facts and speculations. *Trends in Biochemical Sciences* **23:** 491–495.
[218] Pagel, M. – Bodmer, W. (2003) A naked ape would have fewer parasites. *Proceedings of the Royal Society of London: Biological Sciences (Suppl.)* **270:** S117–S119.
[219] Panchen, A. L. (2001) Étienne Geoffroy St.-Hilaire: Father of 'evo-devo'? *Evolution and Development* **3:** 41–46.
[220] Parker, A. (2003) *In the Blink of an Eye: The Cause of the Most Dramatic Event in the History of Life*. Free Press, London.
[221] Partridge, T. C. – Granger, D. E. – Caffee, M. W. – Clarke, R. J. (2003) Lower Pliocene hominid remains from Sterkfontein. *Science* **300:** 607–612.
[222] Penfield, W. – Rasmussen, T. (1950) *The Cerebral Cortex of Man: A Clinical Study of Localization of Function*. Macmillan, New York.
[223] Perdeck, A. C. (1957) The isolating value of specific song patterns in two sibling species of grasshoppers. *Behaviour* **12:** 1–75.
[224] Peterson, K. J. – Eernisse, D. J. (2001) Animal phylogeny and the ancestry of bilaterians: Inferences from morphology and 18S rDNA gene sequences. *Evolution and Development* **3:** 170–205.
[225] Pettigrew, J. D. – Manger, P. R. – Fine, S. L. B. (1998) The sensory world of the platypus. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Biological Sciences.* **353:** 1199–1210.
[226] Pinker, S. (1994) *The Language Instinct: The New Science of Language and Mind*. Allen Lane, Penguin Press, London.
[227] Pinker, S. (1997) How the Mind Works. Norton, New York.
[228] Pough, P. H. – Andrews, R. M. – Cadle, J. E. – Crump, M. (2001) *Herpetology*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 2. kiad.
[229] Pullman, P. (2001) *His Dark Materials Trilogy*. Scholastic Press, London.
[230] Purvis, A. (1995) A composite estimate of primate phylogeny. *Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences* **348:** 405–421.
[231] Ragan, M. A. – Goggin, C. L. – Cawthorn, R. J. *et al.* (1996) A novel clade of protistan parasites near the animal-fungal divergence. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **93:** 11907–11912.
[232] Reader, J. (1988) *Man on Earth*. Collins, London.
[233] Reader, J. (1998) *Africa: A Biography of the Continent*. Penguin, London.
[234] Ribek, J. (1994) Synthetic self-replicating molecules. *Scientific American* **271** (July): 48–55.
[235] Rees, M. (1999) *Just Six 9 Numbers*. Science Masters. Weidenfeld & Nicolson, London.
[236] Reno, P. L. – Meindl, R. S. – Mccollum, M. A. – Lovejoy, C. O. (2003) Sexual dimorphism in *Australopithecus afarensis* was similar to that of modern humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **100:** 9404–9409.
[237] Richardson, M. K. – Keuck, G. (2002) Haeckel's ABC of evolution and development. *Biological Reviews* **77:** 495–528.
[238] Richmond, B. G. – Begun, D. R. – Strait D. S. (2001) Origin of human bipedalism: The knuckle-walking hypothesis revisited. *Yearbook of Physical Anthropology* **44:** 70–105.
[239] Ridley, Mark (1983) *The Explanation of Organic Diversity – The Comparative Method and Adaptations for Mating*. Clarendon Press/Oxford University Press, Oxford.
[240] Ridley, Mark (1986) Embryology and classical zoology in Great Britain. *In A History of Embryology: The Eighth Symposium of the British Society for Developmental Biology* (Horder, T. J. – Witkowski, J. – Wylie, C. C. szerk.), pp. 35–67, Cambridge University Press, Cambridge.
[241] Ridley, Mark (2000) *Mendel's Demon: Gene Justice and the Complexity of Life*. Weidenfeld & Nicolson, London.
[242] Ridley, Matt (1993) *The Red Queen: Sex and the Evolution of Human Nature*. Viking, London.

[243] Ridley, Matt (2003) *Nature Via Nature: Genes, Experience and What Makes Us Human*. Fourth Estate, London.
[244] Rodriguez-Trelles, F. – Tarrío, R. – Ayala, F. J. (2002) A methodiological bias toward overestimation of molecular evolutionary time scales. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **99:** 8112–8115.
[245] Rokas, A. – Holland, P. W. H. (2000) Rare genomic changes as a tool for phylogenetics. *Trends in Ecology and Evolution* **15:** 454–459.
[246] Roos, C. – Geissmann, T. (2001) Molecular phylogeny of the major hylobatid divisions. *Molecular Phylogenetics and Evolution* **19:** 486–494.
[247] Ruiz-Trillo, I. – Paps, J. – Loukota, M. *et al.* (2002) A phylogenetic analysis of myosin heavy chain type II sequences corroborates that Acoela and Nemertodermatida are basal bilaterians. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **99:** 11246–11251.
[248] Ruppert, E. E. – Barnes, R. D. (1999) *Invertebrate Zoology*. Saunders College Publishing, Fort Worth, 6. kiad.
[249] Sacks, O. (1996) *The Island of the Colour-blind and Cycad Island*. Picador, London.
[250] Saffhill, R. – Schneider-Bernloer, H. – Orgel, L. E. – Spiegelman, S. (1970) *In vitro* selection of bacteriophage Qβ ribonucleic acid variants resistant to ethidium bromide. *Journal of Molecular Biology* **51:** 531–539.
[251] Sánchez-Villagra, M. R. (2001) The phylogenetic relationships of argyrolagid marsupials. *Zoological Journal of the Linnean Society* **131:** 481–496.
[252] Sansom, I. J. – Smith, M. M. – Smith, M. P. (2001) The Ordovican radiation of vertebrates. In *Major Events in Early Vertebrate Evolution* (Ahlberg, P. E. szerk.), 10. fej., Taylor and Francis, London.
[253] Schluter, D. (2000) *The Ecology of Adaptive Radiation*. Oxford University Press, Oxford.
[254] Schmitz, J. – Ohme, M. – Zischler, H. (2001) SINE insertions in cladistic analyses and the phylogenetic affiliations of *Tarsius bancanus* to other primates. *Genetics* **157:** 777–784.
[255] Schopf, J. W. (1999) *Cradle of Life – The Discovery of Earth's Earliest Fossils*. Princeton University Press, Princeton.
[256] Schüssler, D. – Schwarzott, C. – Walker, A. (2001) A new phylum, Glomeromycota: Phylogeny and evolution. *Mycological Research* **105:** 1473–1421.
[257] Scotese, C. R. (2001) *Atlas of Earth History*, vol. 1. Palaeography. PALEOMAP project Arlington, Texas.
[258] Seehausen, O. – Van Alphen, J. J. M. (1998) The effect of male coloration on female mate choice in closely related Lake Victoria cichlids (*Haplochromis nyererei* complex). *Behavioural Ecology and Sociobiology* **42:** 1–8.
[259] Senut, B. – Pickford, M. – Gommery, D. *et al.* (2001) First hominid from the Miocene (Lukeino Formation, Kenya). *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Series IIA – Earth and Planetary Science* **332:** 137–144.
[260] Sepkoski, J. J. (1996) Patterns of Phanerozoic extinction: A perspective from global databases. In *Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic* (Walliser, O. H. szerk.), pp. 35–51, Springer-Verlag, Berlin.
[261] Shapiro, B. – Sibthorpe, D. – Rambaut, A. *et al.* (2002) Flight of the dodo. *Science* **295:** 1683.
[262] Sheets-Johnstone, M. (1990) *The Roots of Thinking*. Temple University Press, Philadelphia.
[263] Shirai, S. (1996) Phylogenetic interrelationships of neoselachians (Chondrichthyes: Euselachii) In *Interrelationships of Fishes* (Stiassny, M. L. J. – Parenti, L. R. – Johnson, G. D. szerk.), pp. 9–34. Academic Press, San Diego.
[264] Shu, D.-G. – Luo, H.-L. – Conway Morris, S. *et al.* (1999) Lower Cambrian vertebrates from south China. *Nature* **402:** 42–46.
[265] Sibley, C. G. – Monroe, B. L. (1990) *Distribution and Taxonomy of Birds of the World*. Yale University Press, New Haven.
[266] Simpson, G. G. (1980) *Splendid Isolation: The Curious History of the South American Mammals*. Yale University Press, New Haven.
[267] Slack, J. M. W. – Holland, P. W. H. – Graham, C. F. (1993) The zootype and the phylotypic stage. *Nature* **361:** 490–492.
[268] Smith, D. C. (1979) From extracellular to intracellular: The establishment of a symbiosis. In *The Cell as a Habitat* (Richmond, M. H. – Smith, D. C. szerk.), Royal Society of London, London.
[269] Smolin, L. (1997) *The Life of the Cosmos*. Weidenfeld & Nicolson, London.
[270] Southwood, T. R. E. (2003) *The Story of Life*. Oxford University Press, Oxford.
[271] Springer, M. S. – Murphy, W. J. – Eizirik, E. – O'Brien, S. J. (2003) Placental mammal diversification and the Cretaceous-Tertiary boundary. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **100:** 1056–1061.
[272] Springer, M. S. – Westerman, M. – Kavanagh, J. R. *et al.* (1998) The origin of the Australasian marsupial fauna and the phylogenetic affinities of the enigmatic monito del monte and marsupial mole. *Proceedings of the Royal Society of London, Series* β **265:** 2381–2386.
[273] Stewart, C. B. – Disotell, T. R. (1998) Primate evolution – in and out of Africa. *Current Biology* **8:** R582–R588.
[274] Stringer, C. (2003) Human evolution – out of Ethiopia. *Nature* **423:** 692–695.
[275] Sumper, M. – Luce, R. (1975) Evidence for *de novo* production of self-replicating and environmentally adapted RNA structures by bacteriophage Qβ replicase. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **72:** 162–166.
[276] Sutherland, J. L. (1933) Protozoa from Australian termites. *Quarterly Journal of Microscopic Science* **76:** 145–173.
[277] Swift, J. (1733) *Poetry, A Rhapsody*.
[278] Syed, T. – Schierwater, B. (2002) *Trichoplax adhaerens*: discovered as a missing link, forgotten as a hydrozoan, rediscovered as a key to metazoan evolution. *Vie et Milieu* **52:** 177–187.
[279] Takezaki, N. – Figueroa, F. – Zaleska-Rutczynska, Z. – Klein, J. (2003) Molecular phylogeny of early vertebrates: Monophyly of the agnathans as revealed by sequences of 35 genes. *Molecular Biology and Evolution* **20:** 287–292.
[280] Tamm S. L. (1982) Flagellated endosymbiotic bacteria propel a eukaryotic cell. *Journal of Cell Biology* **94:** 697–709.
[281] Tavaré, S. – Marshall, C. R. – Will, O. *et al.* (2002) Using the fossil record to estimate the age of the last common ancestor of extant primates. *Nature* **416:** 726–729.
[282] Taylor, C. R. – Rowntree, V. J. (1973) Running on two or four legs: which consumes more energy? *Science* **179:** 186–187.
[283] Telford, M. F. – Lockyer, A. E. – Cartwright-Finch, C. – Littlewood, D. T. J. (2003) Combined large and small subunit ribosomal RNA phylogenies support a basal position of the acoelomorph flatworms. *Proceedings of the Royal Society of London: Biological Sciences* **270:** 1077–1083.
[284] Templeton, A. R. (2002) Out of Africa again and again. *Nature* **416:** 45–51.
[285] Thomson, K. S. (1991) *Living Fossil: The Story of the Coelacanth*. Hutchinson Radius, London.
[286] Trivers, R. L. (1972) Parental investment and sexual selection. In *Sexual Selection and the Descent of Man* (Campbell, B. szerk.), pp. 136–179, Aldine, Chicago.
[287] Trut, L. N. (1999) Early canid domestication: The farm-fox experiment. *American Scientist* **87:** 160–169.
[288] Tudge, C. (1998) *Neanderthals, Bandits and Farmers: How Agriculture Really Began*. Weidenfeld & Nicolson, London.
[289] Tudge, C. (2000) *The Variety of Life*. Oxford University Press, Oxford.
[290] Turbeville, J. M. (2002) Progress in nemertean biology: Development and phylogeny. *Integrative and Comparative Biology* **42:** 692–703.
[291] Valentine, J. W. (2002) Prelude to the Cambrian explosion. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* **30:** 285–306.
[292] van Schaik, C. P. – Ancrenaz, M. – Borgen, G. *et al.* (2003) Orangutan cultures and the evolution of material culture. *Science* **299:** 102–105.
[293] van Tuinen, M. – Sibley, G. G. – Hedges, S. B. (2000) The early history of modern birds inferred from DNA sequences of nuclear and mitochondrial genomes. *Molecular Biology and Evolution* **17:** 451–457.
[294] Venkatesh, B. – Erdmann, M. V. – Brenner, S. (2001) Molecular synapomorphies resolve evolutionary relationships of extant jawed vertebrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **98:** 11382–11387.
[295] Verheyen, E. – Salzburger, W. – Snoeks, J. – Meyer, A. (2003) Origin of the superflock of cichlid fishes from Lake Victoria, East Africa. *Science* **300:** 325–329.
[296] Vine, F. J. – D. H. – M. (1963) Magnetic anomalies over oceanic ridges. *Nature* **199:** 947–949.
[297] Wada, H. – Satoh, N. (1994) Phylogentic relationships among extant classes of extant classes of echinoderms, as inferred from sequences of 18S rDNA, coincide with relationships deducted from the fossil record. *Journal of Molecular Evolution* **38:** 41–49.

[298] Wake, D. B. (1997) Incipient species formation in salamanders of the *Ensatina* complex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **94:** 7761–7767.
[299] Walker, G. (2003) *Snowball Earth: The Story of the Great Global Catastrophe that Spawned Life as we Know It*. Bloomsbury, London.
[300] Ward, C. V. – Walker, A. – Teaford, M. F. (1991) *Proconsul* did not have a tail. *Journal of Human Evolution* **21:** 215–220.
[301] Weinberg, S. (1993) *Dreams of a Final Theory*. Hutchinson Radius, London.
[302] Weiner, J. (1994) *The Beak of the Finch*. Jonathan Cape, London.
[303] Wesenberg-Lund, C. (1930) Contributions of the biology of the Rotifera. Part II. The periodicity and sexual periods. *Det Kongelige Danske Videnskabers Selskabs Skrifter* **9, II:** 1–230.
[304] West, G. B. – Brown, J. H. – Enquist, B. J. (2000) The origin of universal scaling laws in biology. In *Scaling in Biology* (Brown, J. H. – West, G. B. szerk.). Oxford University Press, Oxford.
[305] West-Eberhard, M. H. (2003) *Developmental Plasticity and Evolution*. Oxford University Press, New York.
[306] Westoll, T. S. (1949) On the evolution of the Dipnoi. In *Genetics, Paleontology and Evolution* (Jepsen, G. L. – Mayr, E. – Simpson, G. G. szerk.), pp. 121–188. Princeton University Press, Princeton.
[307] Wheeler, J. A. (1990) Information, physics, quantum: The search for links. In *Complexity, Entropy, and the Physics of Information* (Zurek, W. H. szerk.), pp. 3–28. Addison-Wesley, New York.
[308] White, T. D. – Asfaw, B. – DeGusta, D. *et al.* (2003) Pleistocene *Homo sapiens* from Middle Awash, Ethiopia. *Nature* **423:** 742–747.
[309] White, T. D. – Suwa, G. – Asfaw, B. (1994) *Australopithecus ramidus*, a new species of early hominid from Aramis, Ethiopia. *Nature* **371:** 306–312.
[310] Whiten, A. – Goodall, J. – McGrew, W. C. *et al.* (1999) Cultures in chimpanzees. *Nature* **399:** 682–685.
[311] Williams, G. C. (1975) *Sex and Evolution*. Princeton University Press, Princeton.
[312] Williams, G. C. (1992) *Natural Selection: Domains, Levels and Challenges*. Oxford University Press, Oxford.
[313] Wilson, E. O. (1992) *The Diversity of Life*. Harvard University Press, Cambridge, Mass.
[314] Wilson, H. V. (1907) On some phenomena of coalescence and regeneration in sponges. *Journal of Experimental Zoology* **5:** 245–258.
[315] Winchell, C. J. – Sullivan, J. – Cameron, C. B. *et al.* (2002) Evaluating hypotheses of deuterostome phylogeny and chordate evolution with new LSU and SSU ribosomal DNA data. *Molecular Biology and Evolution* **19:** 762–776.
[316] Woese, C. R. – Kandler, O. – Wheelis, M. L. (1990) Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **87:** 4576–4579.
[317] Wolpert, L. (1991) *The Triumph of the Embryo*. Oxford University Press, Oxford.
[318] Wolpert, L. – Beddington, R. – Brockes, J. *et al.* (1998) *Principles of Development*. Current Biology/Oxford University Press, London/Oxford.
[319] Wray, G. A. – Levinton, J. S. Shapiro, L. H. (1996) Molecular evidence for deep Precambrian divergences among metazoan phyla. *Science* **274:** 568–573.
[320] Xiao, S. H. – Yuan, X. L. – Knoll, A. H. (2000) Eumetazoan fossils in terminal Proterozoic phosphorites? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **97:** 13684–13689.
[321] Yeats, W. B. (1984) *The Poems* (Finneran, R. J. szerk.). Macmillan, London.
[322] Yoder, A. D. – Yang, Z. (2004) Divergence dates for Malagasy lemurs estimated from multiple gene loci: Geological and evolutionary context. *Molecular Ecology* **13:** 757–773.
[323] Zahavi, A. – Zahavi, A. (1997) *The Handicap Principle*. Oxford University Press, Oxford.
[324] Zardoya, R. – Meyer, A. (2000) Mitochondrial evidence on the phylogenetic position of caecilians (Amphibia: Gymnophiona). *Genetics* **155:** 765–775.
[325] Zardoya, R. – Meyer, A. (2001) On the origin of and phylogenetic relationships among living amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **98:** 7380–7383.
[326] Zhu, M. – Yu, X. (2002) A primitive fish close to the common ancestor of tetrapods and lungfish. *Nature* **418:** 767–770.
[327] Zuckerkandl, E. – Pauling, L. (1965) Evolutionary divergence and convergence in proteins. In *Evolving genes and proteins* (Bryson, V. – Vogels, H. J. szerk.), pp. 97–166. Academic Press, New York.

Magyar nyelvű ajánlott irodalom

Allègre, C. (1994) *Bevezetés a természettörténetbe*. Európa Kiadó, Budapest.
Behe, M. J. (2002) *Darwin fekete doboza*. Harmat Kiadó, Budapest.
Beurlén, K. – Lichter, G. (1997) *Körületek*. Magyar Könyvklub, Budapest.
Blackmore, S. (1999) *A mémgépezet*. Magyar Könyvklub, Budapest.
Burnie, D. (szerk.) (2002) *Állatok. Kétéltűek és hüllők*. Gabo Kiadó, Budapest.
Cavalli-Sforza, L. L. (2002) *Genetikai útjáró. Különbözőségünk története*. HVG Kiadó, Budapest.
Circk, F. (1987) *Az élet mikéntje*. Gondolat Kiadó, Budapest.
Darwin, Ch. (2000) *A fajok eredete*. Typotex Kiadó, Budapest.
Davies P. (2000) *Az ötödik csoda. Az élet eredetének mesője*. Vince Kiadó, Budapest.
Dawkins, R. (1986) *Az önző gén*. Gondolat Kiadó, Budapest; (2005) Kossuth Kiadó, Budapest.
Dawkins, R. (1989) *A hódító gén*. Gondolat Kiadó, Budapest.
Dawkins, R. (1994) *A vak órásmester*. Akadémiai Kiadó, Budapest; (2005) Kossuth Kiadó, Budapest.
Dawkins, R. (1995) *Folyam az Édenkertből*. Kulturtrade Kiadó, Budapest.
Dawkins, R. (2001) *A Valószínűtlenség hegyének meghódítása*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
Dawkins, R. (2001) *Szivárványbontás*. Vince Kiadó, Budapest.
Dawkins, R. (2005) *Az Ördög kaplánja*. Vince Kiadó, Budapest.
Dennet, D. C. (1998) *Darwin veszélyes ideája*. Typotex Kiadó, Budapest.
Diamond, J. (1997) *Miért élvezet a szex? Az emberi szexualitás evolúciója*. Kulturtrade Kiadó, Budapest.
Diamond, J. (2000) *Háborúk, járványok, technikák*. Typotex Kiadó, Budapest.
Diamond, J. (2002) *A harmadik csimpánz felemelkedése és bukása*. Typotex Kiadó, Budapest.
Gánti Tibor (1978) *Az élet principiuma*. Gondolat Kiadó, Budapest.
Gánti Tibor (2000) *Az élet általános elmélete*. Műszaki Kiadó, Budapest.
Géczy Barnabás (1987) *Őslénytan*. Tankönyvkiadó, Budapest.
Gould, S. J. (1990) *A panda hüvelykujja*. Európa Kiadó, Budapest.
Gould, S. J. (2000) *Az elmémiskelt ember*. Typotex Kiadó, Budapest.
Jacquard, A. – Kahn, A. (2003) *A jövő nincs megírva. A gének titkai*. Jószöveg Műhely Kiadó, Budapest.
Jones, S. (1998) *A vérünkben van*. Officina Nova, Budapest.
Jones, S. (2001) *A gének nyelve*. Magyar Könyvklub, Budapest.
Jones, S. (2003) *Darwin szelleme*. Typotex Kiadó, Budapest.
Judson, O. (2003) *Kedves Dr. Tatiana…* Magyar Könyvklub, Budapest.
Leakey, R. E. (1995) *Az emberiség eredete*. Kulturtrade Kiadó, Budapest.
Leakey, R. E. – Lewin, R. (1986) *Fajunk eredete*. Gondolat Kiadó, Budapest.
Mamer, D. – Copland, P. (2005) *Génjeink*. Osiris Kiadó, Budapest.
Maynard Smith, J. (1990) *Kuleskérdések a biológiában*. Gondolat, Budapest.
Maynard Smith, J. – Szathmáry E. (1997) *Az evolúció nagy lépései*. Scientia Kiadó, Budapest.
Maynard Smith, J. – Szathmáry E. (2000) *A földi élet regénye – Az élet születésétől a nyelv kialakulásáig*. Vince Kiadó, Budapest.
Mészáros Ernő (2001) *A Föld rövid története*. Vince Kiadó, Budapest.
Milner, A. (2000) *Dinoszauruszok*. Passage Kiadó, Budapest.
Pálfy József (2000) *Kihaltak és túlélők. Félmilliárd év nagy fajpusztulásai*. Vince Kiadó, Budapest.
Rees, Martin (2000) *Csak hat szám*. Vince Kiadó, Budapest.
Richardson, H. (2003) *Dinoszauruszok és az élet története*. Panemex-Grafto, Budapest.
Storch, V. – Welsch, U. (1995) *Evolúció*. Springer Hungarica Kiadó, Budapest.
Sykes, B. (2002) *Éva hét leánya*. Európa Kiadó, Budapest.
Széky Pál (1995) *Zoológiai értelmező szótár*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
Venettianer Pál (1998) *A DNS szép új világa*. Vince Kiadó, Budapest.
Venettianer Pál (2003) *Csillagórák a tudományban*. Medicina Kiadó, Budapest.
Watson, J. D. – Berry, A. (2004) *DNS. Az élet titka*. HVG Könyvek Kiadó, Budapest.
Williams, G. C. (1992) *A pónihal lámpása*. Kulturtrade Kiadó, Budapest.

NÉV- ÉS TÁRGYMUTATÓ

JELMAGYARÁZAT

208 lapszéli magyarázat
208 ábra vagy kép
[208] irodalom

A fajok eredete 96, 157, 167, 343, 374, 464 [59]
a fajták sokfélesége 36
A hódító gén 291, 360, 503 [66]
a nők választása 172, 284
a természet misztikus szemlélete 394–395
a tervből fakadó érv" 456
A vak órásmester 224, 470, 488 [67]
A Valószínűtlenség hegyének meghódítása 323, 486, 489, 497 [71]
Abdal-Rahmán 235
Abdominal-A 346, 360
Abdominal-B 346
Acanthostega 250, 250 [47]
Acoela 321, 382 *lásd* bélüreg nélküli laposférgek
Actinopterygia lásd sugarasúszójú halak
Ádám, Y-kromoszómás 49–50, 54
Adams, Douglas 140, 234 [2]; 233 [1]
adaptáció lásd alkalmazkodás
adaptív radiáció 283 [253]
Aegyptopithecus 118
Aepyornis lásd elefántmadár
Afrika 42–43, 44, 68, 98–103, 118, 122, 140, 178, 181, 182–187, 237–241, 242, 244, 268, 484, 486
afrikai kiindulás elmélet 51–54, 58
afrikai tarajos sül *(Hystrix)* 122
Afropithecus 98
Afrotheria lásd afrikaiak 38, 142, 143, 150, 182–187, 194, 484, 508
aguti *(Dasyprocta)* 106, 154
agy 60, 61, 65, 95, 127, 128, 132, 159, 198–199, 200, 205, 302, 308, 313, 322, 324, 341 384, 392
  a hód gátépítő viselkedésének behuzalozása 160
  a világ szellemi képe 206
álgének (pszeudogének) 110, 116, 299, 300
alaptest 443, 444
alapvető állandók 8, 9
Alekszej, orosz cárevics 46
Alexander, Richard D. 173 [5]
algák *lásd* moszatok
aligátor 271
alkalmazkodás 57, 82–83, 160, 161, 239, 290, 308, 449, 486–491, 492, 502
  barlangi élethez 288–290
alkoholintolerancia 33
állat 127, 314, 379, 411, 419
  agyméretük 69–74
  éjszakai 125, 126, 129, 134–135, 140, 144, 150, *331*, 394
  házi- *lásd* domesztikáció
  kommunikáció 161
  új meghatározása a Hox-gének alapján 351–352 [267]
allél 33, 44, 46, 47, 129, 159–160, 334, 374
állkapocs 195, 213, 276–277, 279, 283, 302, 364 lásd még halak: állkapocs nélkül
allometria 344 [123, 304]
alpaka *(Lama pacos) 180*
alsó lábszárcsont 164
altaji 24
altruizmus 82, 453
Alu 110, 131, 133
alveolata 437
Ambulacraria *lásd* tüskésbőrűek
aminosav 22, 61, 62, 110, 299, 373, 377, 469, 472–473, 475–476
ammoniták 320
amőba 416–417, 439, 460–461
Amoebozoa 416, 508
Amphibia *lásd* kétéltűek
Amphioxus *lásd* lándzsahal
Andrewsarchus 162, 168
angolna *(Saccopharyngiformes)*
  pelikánangolna *(Eurypharynx pelecanoides)* 276, **277**
  zsákszájú angolna *(Saccopharynx ampullaceus)* 277
angolna, elektromos *(Electrophorus electricus)* 202
Aniridia *lásd* Pax
Anomalocaris 364, 364
Antarktisz 122, 188, 190, 211, 237, 238, 239, 240, 241, 249
antennapedia lásd csáplábú
antibiotikum 414
antikodon 473
antilop 140, 162, 164, 185, 193, 484
anyagcsere 422–424, 446, 468, 479, 482
archaikum *(eon)* 18
archaikusok vagy archebaktériumok (Archae) 436, 440, 446, 447, 448–449, 450, 459–460, 461, 463, 480, 509
Archosaurusok 214 *lásd* még madár, krokodil, szárnyasgyík
Ardipithecus 80, 84, 85
Arisztotelész 465
Armageddon 124, 154
Arrese, Catherine 126 [9]
Arthropoda lásd ízeltlábúak
Ashmole, Elias 232
átalakulás (metamorfózis) 263–264, 265, 307
átírás 22, 62, 299, 461
atoll 391, 392
Australopithecus 10, 63, 69, 75, 77–80, 84, 86, 87, 103, 175, 226
  A. aethiopicus 77
  A. afarensis 56, 65, 78 *lásd még* Lucy
  A. africanus 78
  A. anamensis 78
  A. bahrelghazali 92
  A. boisei 77
  A. robustus 77
Australosphenidanok 194 [180]
Ausztrália 39, 53, 143, 188–193, 194, 237–240, 268, 390, 484, 486
Ausztrálinea 190–193, 484
autokatalizáló reakció 467–468, 473–474
autoszóma 129
Axelrod, Robert 82 [lásd 69]
axolotl lásd szalamandra
Aysheaia 363
Az ember származása 91, 224 [62]
Az Ezeregyéjszaka meséi 235 [6]
Az önző gén 55, 82, 158, 225, 394, 474 [69]
Az Ördög káplánja 97, 492 [73]
Bach család 230
bagolymajom *(Aotus)* 125, 129, 135
Bakker, Robert 217 [12]
bakteriofág 477
baktériumok *lásd* eubaktériumok, *Archaea*
Baldwin-hatás 167, 230, 325, [14]
bálna 165–170, 171, 193, 247
  fogascetek *(Odontoceti)* 167
  gyilkos *(Orcinus orca)* 167
  kék *(Balaenoptera musculus)* 271
  szilászcetek (Mysticeti) 167, 168, 169
Baly, E. C. C. 469
Bannister, Sir Roger 339
bárdcsőrű *(Aptornis)* 234
barlangi vaklazac *(Astyanax mexicanus)* 288–290 [324], 288
Barlow, George 276, 285 [15]
Barnard, K. H. 273
Barrell, Joseph 251
bársonyféreg lásd *Onychophora*
Basilosaurus 167
Bateson, Sir Patrick 344 [17]
Bateson, William 343–344, 347, 350 [18]
bayesianus módszer lásd valószínűség-számítás
bazalt 243, 244
Beadle, George W. 414
békahal lásd kúszógéb
békák és varangyok *(Anura)* 135, 246, 247–250, 264, 410
  afrikai szürke fabéka *(Chiromantis xerampelina)* 247–249
  ausztráliai rakétabéka *(Litoria nasuta)* 250
  dél-amerikai erszényes béka (*Gastrotheca*-fajok) 249
  Fidzsi-szigeteki *(Platymantis) 249*
  góliátbékáról *(Conraua goliath)* 250
  Rhinoderma darwinii 249
  szűkszájú békák *(Microhyla)* 261–262
  Wallace-repülőbéka *(Rhacophorus nigropalmatus)* 250
bélcsatorna 414
bélcsíraképződés (gasztruláció) 314, 407
Beljajev, D. K. 30 [287]
Bell, Graham 358 [21]
Belloc, Hilaire 185, 232, 233, 434 [22]
bélüreg nélküli laposférgek 380–383, 408, 508
benépesülés 124, 142, 392
  Dél-Amerikáé a Panama-földnyelven keresztül 53
  Észak-Amerikáé a Bering-földnyelven keresztül 53
  a Krakatané az 1883-as kitörést követően 143
  a szárazföldé a növények által 272
  távoli szigeteké, amely röpképtelenséget eredményez 213–234
Beowulf 24
berbermakákó lásd makákó
Bergson, Henri 458
Bering, Vitus kapitány 187
Beringe, Robert von 97

beszéd *lásd* nyelv
Betzig, Laura 176 [23]
bevésődés 342
bicoid gén 345
bicska (törzsfaépítés) 114
Bilateria 312, 382,
biomassza 418, 439, 480
bithorax csoport 346–347, 349 *lásd* még Hox-gének
Blackmoore, Susan 229 [24]
Blair, W. F. 262 [25]
Blakemore, Colin 133
blasztula 407, 408
Bodmer, Walter 225–226 [218]
bogár 345, 347, 353, 394
Bateson mutánsa **344**
keringőke 326
mutáns lisztbogár *(Tribolium)* 347
pöfögő futrinka *(Brachinus)* 490, 491
bögöly *(Tabanus)* 491
bögömajom *(Alouatta)* 60, 125, 125, 126–128 *lásd* még majmok, újvilági
bojtosúszós hal (maradványhal) *(Latimeria)* 150, 209, 251, 269, 271, 272–273, 272, 373
bölcsőszájú halak *(Cichlidae)* 143, 281–287, 283, 287, 332, 500 [15]
garatállkapocs 283, 500, [175]
a Viktória-tavi állomány eredete 281–287 [295]
Bonner, J. T. 416, 417 [27]
bonobó *(Pan paniscus)* 88–89, 91, 92–93, 101, 176
Bontius, Jacob 96
bordás medúzák 150, 349, 350, 351, 382, 383, 396–397, 408
Borcosphenidan 194 [180]
bőrfogacskák 293, 294, 295
borostyánban való konzervá-lódás 16, 23, 353, 356
bőrszín 328, 333–334, 341–342
borz *(Hyracoidea)* 38, 182, 187
brachiálás (függeszkedve haladás) 80, 83, 104–106, 106, 107, 125, 227
Brachiopoda lásd pörgekarúak
Brachiosaurus 214
Branchiostoma lásd lándzsahal
Brasier, Martin 13 [29]
Bromham, Lindell 271 [34]
Brown, James 423 [304]
Brunet, Michel 84, 85 [36]
Bryozoa (mohaállatok) 317, 321
Buchsbaum, Ralph 319, [37]
Bunopithecus lásd gibbon
Bunyan, John 14
Burgess Shale 65, 364, 365, 367 [30]
Bush, George W. 333, 333
bűvös körök 412 *lásd még* gombák
búza *(Triticum)* 32, 33
Cain, Arthur 203
Cairns-Smith, Graham 459, 470, 503 [39]
Candida lásd Fungi
Canterbury mesék 14, 111–115
Canterbury Mesék Projekt 110, 115 [46]
cápa 201, 209, 292–295, 489
fehér cápa *(Rhincodon typus)* 294
fűrészesrája *(Pristis)* 292, *294*
macskacápa *(Squalidea)* 294
miocén cápa *(Carcharocles megalodon)* 292, 294
pörölycápa *(Sphyrna)* 292, **294**
rókacápa *(Alopias)* 292, **294**
törpecápa *(Squaliolus laticaudus)* 294
Carroll, Lewis 232
Carroll, Robert 251 [40]
Cartesius-féle búvár 278
Cartwright, William 208
Carwardine, Mark 140 [2]
Catania, Kenneth 204–205 [41]
Cavalier-Smith, Tom 448–449 [42]
cellulóz 395, 417, 439, 440
Censky, Ellen J. 124 [44]
Ceratodus 268
Cercopithecidae 121 *lásd* még majmok, óvilági
Cercozoa lásd *Rhizaria*
cerkóf *(Cercopithecina)* 118
cerkófmajom *(Colobina)* 89, 118, 440
Cetacea 167 lásd még bálna, delfin
Cetartiodactyla 162, 165
Cetartiodactyla 162, 165
Chain, Ernst 414
Chang, Joseph T. 38, 40 [45]
Chang-egy 40–41
Chang-kettő 40–41, 43
Chaucer, Geoffrey 14, 15, 20, 24, 26, 40, 111–115, 204, 222, 290, 422, 459, 482,
Chelicerata (csáprágósok) 318
Cherfas, Jeremy 86, 87 [114, 115]
Chicxulub becsapódáskráter **144**, 145
Choanocyta 400, 404–405, 406, 409
cianobaktériumok 415, 446
cickány 142, 203, 488
elefántcickány *(Macroscelididae)* 140, 182, **182**
eurázsiai cickány *(Soricidae)* 147, 162, 182
mókuscickány *(Tupaiidae)* 148–149, 151
cickányopposzum *(Paucituberculata)* 180
Clack, Jennifer 250, [47]
Clarke, Ronald 79 [48]
Cleveland, L. R. 441, 442, 443, 444 [49]
Clovis-kultúra népe 185
Coelenterata (űrbelűek) 396
cölóma 381–382
Condylarthák 191
Conway Morris, Simon 362, 365 [51]; 492–493 [52]
Cooper, Alan 233 [261]; 239, 214 [53]
Coppens, Yves 92 [54]
Cott, Hugh 495 [55]
Courtenay-Latimer, Marjorie 272–273
Crick, Francis 456, 457, 458 [56]; 476
Crinoidea (tengerililiomok) 310
Crockford, Susan 30, 57
Cronin, Helena 224 [58]
csalánozók 150, 271, 349, 382, 383, 384–386, 396, 398, 399, 407, 408, 450, 508
csalánsejt 384–385, 384, 397
csápláb 344 lásd még mutáció: homeotikus
csápláb csoport 346–347, 349 *lásd* még Hox-gének
csapsejtek lásd színlátás
Csengesiang 65, 364, 365, 367, 371, 379 [136]
csigák és meztelencsigák 320
csupaszkopoltyúsok 385–386
Glaucus atlanticus 328
csíkos borotvahal *(Aeoliscus strigatus)* 276
csillagdiagram (gyökértelen fa) 107–108, 436
csillagorrú vakond *lásd* vakond
csillók *(cilia)* 397, 408, 441–444, 447
csillósok 437, 441, 442, 443
csimpánzok 25, 55, 61–62, 75, 80, 81, 82, 88–93, 98–99, 174, 226–227, 258, 305, 378, 507
csont 16, 25, 58, 64, 73, 109, 121, 135, 164, 165, 192, 195, 213, 279, 293, 296, 298, 299, 347, 349, 367, 482
csontos halak *lásd* halak
csótány 346, 440
csúcsnövényzet 390, 393
csuka, északi *(Esox lucius)* 278–279
cukros erszényesmókus *(Petaurus breviceps)* 192, 193
csupasz vakondpatkány *(Heterocephalus glaber)* 154 *lásd* még közjóra épülő társadalomban élő állatok
csupaszkopoltyús csigák *lásd* csigák és meztelencsigák
Ctenophora lásd bordás medúzák
Cynodonta 211, 213
Daphne Major lásd Galápagos-szigetek
Darrow, Clarence 8
Darwin, Charles 91, 95, 223, 224–225, 230, 249, 374, 464 [59]; 181, 231 [61]; 392–393 [60]; 464–466, 469 [63]; 218, 220, 222, 303, 359, 498
darwinizmus
önzősége 453
Smolin elmélete 10
a szexből fakadó nehézségek 357
Davies, Paul 481 [65]
Dawkins, Juliet 274–276
Dél-Amerika 54, 122, 125, 143, 154, 164, 178–181, 188, 237–240, 242–244, 288, 484, 480
De Morgan, Augustus 444 [76]
De Ruiter, Leen 328 [163]
De Waal, Frans 92 [77, 78]
Deep Green 421
Dekkán katlanok 144
delfin 23, 70, 165, 166, 167, 187, 289, 488
dendrokronológia (a fatörzsek évgyűrűinek elemzésére alapozott időszámítás) 19, 245, 425–427, 426, 428
Dene, Henry, Canterbury érseke 111
denevér *(Chiroptera)* 106, 140, 162, 164, 190, 191, 193, 222, 489, 497–498
echolokáció 488
milyen denevérnek lenni 205–206
Dennett, Daniel 229 [79]; 458, 497 [80]
Deuterostomia lásd összájúak
Deutsch, David 9 [81]
devon időszak 11, 18, 19, 250–251, 260, 268, 280, 296, 297
Diamond, Jared 28, 34, 342 [82]
dichotómia 108, 109
Dickinsonia 371, 371
dikromatikus látás *lásd* színlátás
Dimetrodon 212

dingó 190
Dinoflagelláták lásd moszatok
dinoszauruszok 12, 23, 64–65, 69, 125, 144–145, 192, 213, 214–217, 484
Hadrosaurida 214
kihalásuk 144–145, 208
Ornithischia 214
Saurischia 214
Shelley ódája hozzájuk 217
viszonyuk a madarakhoz 214
diploblasztia" (két sejtrétegűség) 383
Diplodocus 214
diploid 355
Discicristaták 439
Disotell, Todd. R. 99–103 [273]
díszes sokúszós csuka *(Polipteriformes)* 279
disznó 162, 165, 171, 187, 231, 415
Dixon, Dougal 154 [83]
DNS
áthelyezhető elemek 110, 166
degenerált kód 22, 377
mitokondriális 48, 49, 52, 53, 58, 115, 233, 239, 271, 285, 286–287
önrendező ábécé 21
ősi DNS megőrzése 23, 58
változási aránya *lásd még* molekuláris óra
Dobzhansky, Theodosius 262
dodó *(Raphus cucullatus)* 231–234
fehér dodó *(Raphus solitarius)* 232
oxfordi dodó **231**, 232
Dollo törvénye 86, 289–290
domesztikáció
állatoké 29
búzáé 33
embereké 31–32
ezüstrókáké 30 [287]
gombáké és nedvszívóké hangyák által 329–331
gombáké termeszek által 330
kukoricáé 54
kutyáké 29–30
növényeké 29, 32–33, *423*
Dosantu 371
Douglas-Hamilton, Oria 185
Drága Fiú" 78
Drayton, Michael 235 [84]
DRIP-ek *(Mesomycetozoea)* 410–411
Drosophyla lásd gyümölcslégy
Dryopitheus 98, 102
dugong (Dugong dugong) 38, 171
dunnart *(Smynthopsis)* 126
Durham, William 31 [87]
Dyson, Freeman 470 [88]
East Side Story 92 [54]
ebihal 87, 249, 264, 267, 306, 307, 308, 309, 371
Ecdysozoa 318, 319, 363
echolokáció 488
ediacarai fauna 367, 371
ediacarai időszak 371
Edward, kenti herceg „magasztos herói"
egér 61, 152, 155, 156, 157, 324, 348, 349, 424
éghajlat 94, 98, 118, 136, 144, 188, 240, 246, 341, 393, 427
egybecsés 9
egybeolvadás 46
egysejtű szervezetek lásd mikroorganizmus
együttes alkalmazkodás (koadaptáció) 395
ehető és mérges kalaposgombák 412–415
Eigen, Manfred 470, 474, 475,479 [90]
Eimer-szervek 204–205
éjjeli pille 490
ektoderma 383
elefánt *(Proboscidea)* 23, 140, 185–187
afrikai 185
indiai 185
az ormány használata 185–186
lásd még mamut, masztodon, *Proboscidea*
elefántcickány *lásd* cickány
elefántmadár *(Aepyornis)* 235–236, 237, 238, 239, 240, 241, 241
elektrolokáció 199–203, 489
elektromágneses spektrum látható tartománya 127
elemek, kémiai 428–429
élesztő *lásd* még gombák
élet, eredete 13, 14, 464–481
„Életfa" vállalkozás 209
elevenszülés 247, 249
eljegesedés 380 *lásd* még jégkorszak; sarki jégsapka
ellátó hálózat 423–424, 455
élő kövület 268, 269, 272–273, 318, 321, 440
Elton, Charles 242
elytra 345
emberek
domesztikációja 32
esetleges ivartalanságuk látszata 354 [127]
hímek, közelebb a hím gibbonhoz, mint a nőkhöz 117
közös őscink 36–42
a testszőrzet elvesztése 59, 223–226
változatossága 36, 42
„emberközpontú" képzet 8-9
emberszabásúak
afrikaiak 86, 96, 98-103, *117*
ázsiaiak 94, 98-103
farkuk elvesztése 106-107
viszonyulásunk hozzájuk 95-97, **96**
embriológia 22, 109, 158, 160, 250, 265, 314, 344, 381, 383, 401, 407–408, 504
emésztés 33, 180, 277, 381, 384, 396, 398, 412, 414, 415, 439, 440–441
emlősök
elterjedésük a K/T után 146–147, 378
az emlős jellegvonások kialakulása **212**, 213
kora 144, 181
korai 136, 378
emlősszerű hüllők 126, 145, 192, 207–213, 210, 485
Gorgonopsidák 211, **211**
Lystrosaurus 208
emu 236, 240
endoderma 383
energia, forrása 330, 412, 446, 447, 463, 480 *lásd* még légzés
enkefalizációs hányados (EQ) 74–76 [143]
Enquist, Brian 423 [304]
Ensatina lásd szalamandra, fajkialakulás: gyűrűfajok
Enteropneusta lásd makkférgek
entrópia 289–290
enzim 31, 376, 414, 440, 441, 467, 470–473, 474, 475–479, 503
celluláz 440–441, 444
laktáz 31
Qβ replikáz 477–479
Taq polimeráz 460
lásd még katalizátor
eocén kor 18, 131, 166, 237
erdő 139, 390, 392, 418
Ergaszter *(Homo ergaster/H. erectus)* 10–11, 51–52, 53, 56, 58, 59–62, 63, 68, 75, 76, 94, 260
erszényesek 74, 178, 179, 180, 188–193, 194, 484, 489
erszényük 188
színlátásuk 126 [9]
erszényesvakondok *(Notoryctes)* 191–192, 193
érzet 206
Escherichia coli 416, 477
eszközhasználat
a csimpánzoké és a bonobóké 89, **89** [310]
a hominidáké 60
az orangutánoké 91 [292]
esszencializmus 259
éti kagyló 320, 480
etika 97, 255
eubaktériumok (valódi baktériumok) 13, 48, 376, 395, 436, 446, 449, 450, 454, 460, 480–481
bakteriális ostoros motor 454–459, **454**
nitrogénmegkötés *446*, 459
szerepük az eukarióta sejt kialakulásában 445–447
szimbionta szerepük az állatokban és növényekben 395, 440–441, 459
szimbionta szerepük a protozoákban 442–444
lásd még mitokondrium, színtest
Euglena 439
eukarióta 409, 434–439, 441, 445–447, 448, 449, 450, 460, 461
Eumetazoa 400, 401
Eupantotherák 196, 196
eurypterida (tengeriskorpió) 296, 297, 318
Eusthenopteron 251
Éva, mitokondriális 49–50, 52, 54, 58
Everett, Hugh 9 [81]
evolúció
konvergens 103, *140*, 142, 164, 191–193, 280, 283, *320*, 486–493
makro- és mikroevolúció 498–500
„megalkuvó" jellege *107*, 180, 457
mintái 8–10, 484
morfológiai/molekuláris 269–271
sebessége 217–222, 269–271, 373–379 *lásd még* molekuláris óra
társadalmi 387
változások a viselkedés vezérlésében 329 *lásd még* Baldwin-hatás
visszafordulása *lásd* Dollo törvénye
exon 22, 62
Ezékiel 464
ezerlábú (Diplopoda) 317, 318, 320, 502
ezüstróka (Vulpes vulpes) 29–30, 31
faévgyűrűk *lásd* dendrokronológia
fagyálló 249, 505
fajizmus 97
fajkialakulás 261–263, 281–287, 500–501
földrajzi elszigeteltség általi (allopatrikus) 92, 283–287, 358

gyűrűfajok 252–255
elképzelt ember/csimpánz gyűrű 255, 258–259
Ensatina gyűrű 252–254, **253**
heringsirály/kisebb feketehátú sirály gyűrű 254–255
megerősítés 262–263
populációk kultúra általi elszigetelődése 336, 342–343
szimpatrikus 283, 342–343
fajok
csak az átmeneti fokozatok kihalása miatt nem egybefüggők 258–261
fajcsalád, monofiletikus 286
a fa, mint a génfák „többségi szavazásának" eredménye 116–117
fogalma 284, 335, 354
fakutya 445–446
falanoka *(Fossa fossa)* 141
falanuk *(Eupleres goudotii)* 141
apatkány, kapaszkodófarkú *(Pogonomys)* 125
farkas *(Canis lupus, C. rufus)* 30, 107, 193
farkcsont *(coccyx)* 106
farok
elvesztése 106
használata 106–107
kapaszkodófarok 125, **125**
páváé 222, 223, 224
végbélnyílás utáni, gerinceseknél 299, 302, 307
faroksodró medve 125
fatetű *(Oniscidea)* 320
fecskekukvik *(Aegothelidea)* 134
fegyverkezési verseny 358, 495–498
„fehér" amerikaiak 333–335
fehérje 22, 61, 345, 461, 472–473, 474, 503
fejlődés 263–267, 344–352, 360, 407, 492, 504 [318]
fekete bendőshal *(Chiasmodon niger)* 277, 277
fekete halál 152
fekete lyuk 10
„fekete" amerikaiak 333–335
félmajmok 136
Felsenstein, Joe 113
Felsenstein-zóna 113
Fenotípus 157–161, 229, 415
féreg 65, **67**, 263, 265, 321–325, 364
gyűrűs 317, 318, 319–320, 349, 365, 502
földigiliszta 312, 317, 320, 502
óriás földigiliszta *(Megascolides australis)* 320
százlábúféreg *(Nereis)* 322
tengeri gyűrűsféreg *(Arenicola)* 322
óriás csőférgek *(Riftia pachyptila)* 480
laposférgek *(Platyhelminthes)* 288, 317, 321, 349, 380, 381–382
mételyek *(Trematoda)* 321, 382
galandférgek *(Cestoda)* 321, 382
örvényférgek *(Turbellaria)* 321, 381, 382
zsinórférgek *(Nemertea)* 320
cipőfűzőféreg *(Lineus longissimus)* 320
péniszférgek *(Priapulida)* 319, **319**
fonálférgek *(Nematoda)* 271, 317, 319, 349
feromonok 226, 415
fésűskagyló *(Pectinidae)* 320, 489
Feynman, Richard 352
Fisher, R. A. 171, 172, 224, 225, 228, 229, 369 [94]
Flemming, Alexander 414
Florex, Howard 414
Fogle, Bruce 204 [95]
fókák *(Phocidae)* 162, 165, 173, 488
elefántfóka *(Mirounga)* 172–174, **174**
fokföldi földimalac 182
fokozat 209, 449
földhíd 39, 54, 101, 239, 241, 242
földigiliszta *lásd* gyűrűsférgek
Földközi-tenger, kiszáradása 55
földönkívüliek általi elragadtatás 41
földrajzi elszigetelődés *lásd* fajkialakulás
Folyam az Édenkertből 38, 358 [70]
Foraminifera 145, 437
fordított átmenet 263
Fortey, Richard 372 [96]; [31]
főszínek 128
fossza *(Cryptoprocta ferox)* 141
fosszíliák *lásd* kövületek
fosszilis tüzelőanyag 468
fotoszintézis 382, 391, 395, 415, 418, 437, 439, 446, 469, 482
fovea 205
FOXP2 61–62 [182]
fül és hallás
az úszóhólyag használata 279
kalapács, üllő és kengyel 195, 279
tojásrakó emlősöké 195
fülesmaki 107, 136–139
Furnes, Harald 13 [98]
fűrókagylók *(Pholadidae)* 320
füvek 418, 446
domesztikációja 32–33
a lelegelésük iránti toleranciájuk 33, 395
galamb 109
fogascsőrű galamb *(Didunculus strigirostris)* 233
nikobári galamb *(Caloenas nicobarica)* 233, **234**
Victoria búbos galamb *(Goura victoria)* 233
lásd még dodó, rodriguezi remete
Galápagos-szigetek 219–220, 231, 501
galápagosi pintyek *lásd* pinty, galápagosi
Galilei 73
galléros ostorosok *(Choanoflagellata)* 406–409
Proterospongia 408–409
ganglion 313, 320, 384
garnélarák 202, 349, 393
garnélarák 480, 487
Garstang, Walter 267, 303, 308–309 [99]
„gastraea" (Haeckel) 407
géb 394
Gehring, Walter 324 [124]
Geissmann, Thomas 115 [100, 246]
gén
az allél szinonimájaként történő használata 44
együttműködő 359
eloszlás mintái 51, 354
fa 42, 44–45, 300–301, 505
gének közössége 395, 415
gyakoriság 32
megkettőződés 47, 125–133, 300–301, 348, 349, 351, 505
mint számítógépes alprogram 156–157, 505
az ősök génjeinek hozzájárulása 43
többségi szavazás a gének között 47, 117, 505
generációs idő 376–377
genetikai kód 12, 22, 25, 473
génmanipulált (GM) termények 505
genom 22, 31, 36, 110, 298, 358, 378, 399, 447, 504–505
együttműködő gének közössége 395
emberi 43
Humán Genom Projekt 36
viszonylag kis mérete 155–157
genotípus 157, 345
geológiai idő 17, 18, 34, 217
Geospiza *lásd* pinty, galápagosi
gép, molekuláris 454, 456, 457
gepárd 54, 162, 337, 497 [192]
Gerhart, John 500 [157]
gerincesek *(Chordata)* 26, 298, 299, 302, 306, 307, 365, 371
gerincesek 23, 25, 74, 126, 133, 246, 264, 271, 274, 296, 300, 308, 323, 349, 369, 379
áttérés a szárazföldre 250–251
fölfordított ízeltlábúak 325
gerinchúr a gerinces embriókban 297, 299
globinok 300
a legkorábbiak 298, 365
moduláris testfelépítés 347–348, 502
gerinctelenek *(Invertebrata)* 203, 263, 298, 299
Giardia lamblia 439
gibbon 80, 101, 102, 104–109, 115–117, 174, 176, 227, 507
bóbitás gibbon *(Nomascus)* 107, 108, 109, 115
hulok 107, 108, 109, 115
Hylobates 104, 107, 115
sziamang *(Symphalangus)* 104, 107
Gigantopithecus 94, 98
Glires 26, 152
globális felmelegedés 240
globinláncok, génkódolás 299–301, 351
Glyptodontes 179–180
gnathosztoma 295 *lásd még* állkapocs
Gold, Thomas 479–481 [104]
gombák 351, 379, 410, 412–415, 439, 446
bazídiumos gombák 414, **414**, 415
Agaricus campestris 414
Phallus impudicus 414
termeszgombák *(Termitomyces)* 329
élesztőgombák
gombafonalak *(hyphae)* 412, **412**, 414
gombaszövedék *(micélium)* 412, 414, 415
homeobox génjeik 350, 351
szimbionta kapcsolatuk a moszatokkal/cianobaktériumokkal (zuzmók) 415
szimbionta kapcsolatuk a növényekkel *(mycorrhizae)* 415

tömlősgombák 414
Candida 415
Neurospora crassa 414
Penicillium 414
Szarvasgomba 415
Gomphotere lásd ormányosok *(Proboscidea)*
Gondwana 140, 143, 181, 188, 190, 194, 211, 237–241, 242, 243
Goodall, Jane 89, 91 [310]
gorilla 85, 87, 93, 94–97, 101, 117, 174, 176, 226, 507
keleti (idetértve a hegyi gorillát is – *Gorilla beringei*) 97
nyugati *(Gorilla gorilla)* 97
Gould, Stephen J. 8, 298, 364, 491 [108]; 19; 220 [107]; 265, 408 [106]; 321 [109]; 492 [73]
Grafen, A. 225, 226 [110]
Graham, Christopher 352 [267]
Grant, Peter és Rosemary 220–222 [111]
Grassé, P. P. 398 [278]
gravitáció 169, 187, 277, 322, 328, 483
Gray, Thomas 92 [145]
Gribbin, John 86, 87 [114, 115]
Grimstone, A. V. 441, 442, 443, 444 [49]
guanakó *(Lama guanicoe)* 180
Gurdon, John 264 [167]
guvat, röpképtelen *(Aphanapterix)* Mauritiuson és a Rodriguezen 234
gyakoriságfüggő szelekció *lásd* polimorfizmus
gyapjasmajom *(Lagothrix)* 125
gyökértelen fa *lásd* csillagdiagram
gyürűfajok, *lásd* fajkialakulás
Gymnarchus 203
Gymnotidae 202
Gymnotus 202–203
gyümölcslégy *(Dorsophila melanogasteri)* 218, 219, 324, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 351
Habilisek *(Homo habilis)* 10, 68–69, 68, 73, 75, 76
hadobaktériumok 460
Hadrosaurida lásd dinoszauruszok
Hadzi, Jovan 408 [118]
Haeckel, Ernst 166, 170–171, 170 [119]; 407–409 [237]; 411; 437, 438, 438 [120]
haggis *(Haggis montanus)* 323
Haig, David 172 [121]
Haikouichthys 298, 366 [264]
halak
állkapocsnélküliek *(Agnatha)* 295, 296, 297, 300, 301, 365, 508 *lásd még* ingola, nyálkahal
csontos *(Osteichthyes)* 200, 202, 296, 300, 502 *lásd még* sugarasúszójú halak, *Teleostei*
elektromos 200–203
forma fokozat 209
kora 296, 297
lepényhal *277*, 291
Haldane, J. B. S. 360, 373, 468, 469, 470 [123]; [122]
Halkieria 365, 365
Hallam, A. 213 [125]
Hallucigenia 362–363, 362, 363
Hamilton, W. D. 225, 226, 352, 357, 483 [126]; 354 [127]
hangya, levélvágó *(Atta)* 329–331, 329
hangyaleső *(Myrmeleontidae)* 490
hangyász 74, 178, 180
fa- *125*
nagysörényes *(Myrmecophaga)* 180, **180**
hangyászmedve lásd fokföldi földimalac
hanyatlási mutató (törzsfaépítés) 114
Haplochromine 281, 283, 286, 287
Haplorhini (orrtükörnélküliek) 134, 136
haplotípus 48, 52, 53, 286
harcsa
elektromos *(Malapterurus)* 202
hátonúszó *(Synodontis nigriventris)* 325, 326-328, **327**
nilusi *(Synodontis schall) 328*
Hardy, Alister 82 [204]; 167 [130]; 267 [131]; 309
hárem 49, 94, 95, 172–177
hármastípusú kiválasztó apparátus (TTSS) 457
harmonikus egész, illúziója 394, 395
háromszögezés (trianguláció) (a DNS-é vagy morfológiáé) 24, 25
Harvey, Paul 176, 177 [132]
hasi–háti tengely 324–326, 345
Hawaii 222, 234
Hearst, William Randolph 87
hemoglobin 299–301, 299, 447, 480
hereméret 95, 176–177
hernyó 31, 222, 263, 264, 328
Hérodotosz 97
Heron-sziget 390, 391
herp 209
Herto 56
heterochronia 265–266
heterokont 438
heterozigótaság, előnye *lásd* polimorfizmus
hiányzó láncszem" 88
hibakatasztrófa lásd mutáció
hibridizáció 33, 209–210, 254, 261–262, 283–284, 331–332, 336
hideg vérű szervezetek *(poikilotherm)* 423, 424
hidraállatok *(hidrozoa)* 386–387, 386
hiéna 162
Hitler, Adolf 336, 337
HIV 54
hód 107, 152, 154, 158-161, 161
Hodgkin, Alan 458
hőforrások 274, 449, 459
Holland, Peter 298, 309; 348 [93]; 352 [267]; 382, 398
holocén 18, 19, 165
Holocephali (tömörfejüek) 295, 295
homár 263, 320
Home, Everard 198, 199 [135]
homeobox gének 350–351
Homérosz 20, 97
hominidák
agyméret 56, 57, 68–76, 84, 223, 224, 228–230
beszéd 60–61 *lásd még* nyelv, eredete
eszközhasználat 34, 60
lásd még Ergaszter, Habilisek, Neander-völgy, *Homo*, *Australopithecus*
Homo
H. antecessor 57
H. erectus (ergaster) lásd Ergaszterek
H. habilis lásd Habilisek
H. heidelbergensis 56–57
H. neanderthalensis lásd Neander-völgy
H. rhodesiensis 57
H. rudolfensis 68
H. sapiens lásd emberek
homokdollár *(Clypeasteroidae)* 312
homozigóta 106
homunculus *(Penfield)* 198, 199
Hooker, Joseph 421, 464, 465
hopanoid 480
Hoppius, E. 96 [140]
hormon 30, 87, 265, 266
tiroxin 266
Hou Xian-guang 364 [136]
Hox-gének 106, 326, 346–352, 360, 369, 399, 502 [92, 318]
hulok lásd gibbon
hüllők
fokozatot és nem kládot alkotnak 209
színlátása 126
Humán Genom Projekt *lásd* genom
Hume, David 497 [138]
Hurst, Lawrence 354 [193; 127]
húsevők *(Carnivora)* 26, 162, 165, 179
Huxley, Aldous 87 [139]
Huxley, Andrew 458
Huxley, Julian 87, 266 [240]; 458
Huxley, T. H. 95, 96, 97 [104]; 226, 307, 350
Hydra 349, 384, 386, 407
Hylobates *lásd* gibbon
Hyman, Libbie Henrietta 399
hyphae lásd gombák
Ichthyosaurus 165, 207, 214, 247, 488
Ichthyosporea (Mesomycetozoea) lásd DRIP-ek
Ichthyostega 250
ideghúr/cső 299, 302, 307, 324–326, 329, 384
idegrendszer 313, 384, 396, 400 *lásd* még ideghúr
iguána 124, 214
zöld *(Iguana iguana)* 124
Iguanodon 214
India 140, 141, 144, 181, 188, 237, 238, 239, 240, 241
indoeurópai 24
indri 106, 142, 142
információ
a DNS-ben 22–24, 110–116, 373
a faji osztályozás információtartalma 338–340
az írott dokumentumokban 20–21
jellege 338–339
infravörös látás 127
ingola *(Cephalaspidomorphi)* 150, 295, 296–299, 299–301, 366
intron 22, 62
IQ 75
Isten 343, 407, 416, 458, 464
ivararány lásd populáció: hím/nő arány
ivari dimorfizmus 172–176, 177, 230
ivaros szaporodás *lásd* szaporodás
ivartalan szaporodás *lásd* szaporodás
ízeltlábúak 202, 297, 313, 317, 318, 320, 325, 345, 363, 364, 502
izmosúszójú halak 11, 251, 252, 268, 269, 274 *lásd* még tüdős hal, bojtosúszós hal (maradványhal)
Izechron 243, 245
izogámia *lásd* szaporodás
izomköteg, szelvényes 298, 302,

347, 502
izotóp 430–433
jaguár *(Panthera onca)* 179
Jamoytius 298
jávai ember *lásd* Ergaszter
jégember 16
jégkorszak 28, 54, 56, 59, 337, 380, 483
Jerison, Harry 74 [143]
Jézus 21, 433
Johanson, Donald 78, 92 [145]
Jones, Steve 46 [146]
Judson, Olivia 204, 354 [147]
juh 106
jura időszak 18, 65, 194, 196, 238, 268
Jurassic Park 23
K/T határ 144–147, 144 *lásd még* kihalás: tömeges kihalás
Kaas, Jon 204, 205 [41]
kabóca 331
kacsacsőrű emlős *(Ornithorhynchus anatinus)* 194–200, 198, 203, 206, 271
kacsakagyló *(Branta leucopsis)* 360
kacslábú rák 359-360, 480
kacsakagyló *(Pollicipes polymerus)* 360, 465
Sacculina 360, **360**
kagylók 263, 317, 318, 319, 320–321, 349, 365, 367, 379, 385, 391, 489
kajmánhal *(Amiiformes)* 279
kakukk 161, 496
kambrium időszak 18, 19, 67, 296, 297, 298, 311, 362-373, 379, 380
kambriumi robbanás 146, 361, 362-373
kaméleon 125, 142, 214, 320, 490
káosz 380
kapibara 154
óriás kapibara *(Protohydrochoreus)* 154
karbon időszak 18, 207, 212, 214, 246, 268, 294, 318
kardfogú 162, 179, 180, 484
karfiol 423–424, 423
Károly herceg kék szemei 47
katalizátor 467, 469, 472-475, 477, 490 *lásd* még enzim
Kauffman, Stuart 482–483 [148]
kazári fecske *(Collocalia linchi)* 488
kazuár 236, 240
KE család 61–62
kecskedarázs 453
kék-zöld moszatok *lásd* cianobaktériumok
Kemp, Tom 211 [151]; 213 [150]
kenguru 106, 188, 193, 440, 484
Kenyapithecus 68, 98, 102, 103
kényszer 492
kerék 450–459, 489
kerekesféreg *(Rotifera)* 321, 465
bdelloidok *(Bdelloidea)* 321, 352–359, **352**
kereszteződés 38, 54, 253, 260, 332, 335–336, 354 *lásd még* hibridizáció, fajkialakulás
kereszteződés *lásd* rekombináció, szexuális
kerekesféreg *(Rotifera)* 321, 465
Kerguelen-fennsík 241
kérődzők 165, 166, 168, 395, 440
keskenyorrú majmok *(Catarrhini)* 118, 121, 126, 507
két lábon járás *(bipedalizmus)* 78, 79, 80-87, 104, 107, 143, 223-224, 226-228, 230, 484
kétéltűek 209, 246-252, 300, 411, 502, 508
nem vízhatlan bőr 249
szaporodása 247-249
kéthéjúak 320-321
kéttagú név 26
kígyó 127, 214, 277, 450, 489, 502
kígyókarú tengericsillag *(Ophiuroidea)* 263, 310, 312, 350
kihalás 19, 28, 57, 211, 231–232, 354, 356, 498
gyakorisága 208
tömeges kihalás 208, **208**, 485, 498
kréta végi (K/T) 144–147, **144**
perm végi 19, 145, 146, 208
alsó triász kori 207
„hatodik kihalás" 208 [172]
kihalt állatok, a közelmúltban lásd tasmaniai farkas *(Thylacinus)*, elefántmadár, moa, dodó, lajhár: óriáslajhár
Kimeu, Kimoya 63 [171]
Kimura, Motoo 374, 377 [152]
kínai suttogók 21
King Kong 96
Kingdon, Jonathan 56; 82–83, 89, 106, 226, 230 [154]; 284 [153]
Kingsley, Charles 186–187 [155]
Kipling, Rudyard 49 [156]
Kirschner, Marc 500 [157]
kis cafranghal *(Phycodurus equus)* 276, 276
Kisláb 63, 79 [48, 221]
kis szem *lásd Pax*
kiterjesztett fenotípus 158–161, 415
kivi 236, 240
Kivu-tó 286, 287
klád, fogalma 209
kladisztika 112, 121, 209, 298, 305
kladogram 108, 109, 113, 115, 116
kládszelekció 501
Kleiber-törvény 422–424, 422
Klein, Richard G. 103 [159]
kloáka 195
klón 23, 264, 355, 386, 387
KNM-ER 1470 68, 68
koala 106, 107
koboldmakik *(Tarsius)* 134–135, 150, 507
kodon 473
koevolúció *lásd* evolúció
kőkor *lásd* paleolit, neolit
kollagén 403
Kolumbusz Kristóf 54
kommunikáció, állati 161
komodói sárkánygyík *(Varanus komodoensis)* 214
kontinensek sodródása 61, 237–241
lásd még lemeztektonika
konvergens (összetartó) evolúció *lásd* evolúció
korall 382, 384, 387–388, 390–394, 390
agykorall 392, **392**
korallzátony 272, 390–394, 393
Darwin elmélete a kialakulásukról 392–393 [60]
kormeghatározás
abszolút *lásd* dendrokronológia, radiometrikus kormeghatározás
relatív *lásd* paleomagnetizmus
környezet 11, 155, 157, 158, 236, 390, 440, 466
korpafű *(Lycopodiopsida)* 214, 246
Kortlandt, Adriaan 92 [160]
kovamoszatok 438
kövületek
„hézagok" a sorozatban 17
képződésük *(tafonómia)* 16, 64–67
legkorábbi 13, 371
meghatározása 17
unokatestvérek és nem ősök (feltehetően) 305
Közép-Atlanti-törés 242–244
közjóra épülő társadalomban élő állatok 493
hangyák 329–330
termeszek 439–440
vakondpatkányok *154*
közönséges tengerimacska *lásd Holocephali*
közösség 390–395, 393, 441, 479–480
köztes állapot 57, 68, 75, 211, 255, 259–261, 305, 332, 333, 370, 455
Krakatau 143
Krebs, John 495, 496 [74]
kréta időszak 18, 118, 136, 144–146, 162, 166, 188, 240, 295, 378 *lásd még* kihalás
kristály 63, 256, 293, 403, 431–432, 470
kromoszóma 44, 48, 110, 131–133, 156, 299, 300, 346–349, 355–356, 445
X-kromoszóma 45–46, 129, 131–133
Y-kromoszóma 48–52
Krumbach, Thilo 398 [278]
Kükenthal, W. 398 [278]
kukorica
domesztikációja 54
olajtartalmára irányuló szelekciója 218 [85]
külső csoport 97, 109
külső váz 296, 318, 492 *lásd még* váz
kultúra
csimpánzoknál 91 [310]
kulturális evolúció *lásd* Nagy Ugrás, mém
mint az emberi populációk elkülönülésének hajtóereje 336
kúszógéb (Periophthalmus) 252, 279–281, 280
kutya 36, 140, 162, 231, 259, 267 *lásd még* domesztikáció
pekingi palotapincsi 266
kvantumelmélet 9, 352, 431
lábatlan kétéltűek 247, 502
lábgombásodás 414
Lack, David 220 [164]
laetoli lábnyomok 65, 66, 78
Lagomorpha 152
lajhár 106, 178, 180, 440
lajhár, fán élő *(Bradypodidae, Megalonychidae)* 107, 180
óriáslajhár, földön élő *(Megatherium)* 180
laktózintolerancia 31–32 [87]
láma 168
Lambourn, W. A. 491 [165]
lámpáskagyló *lásd* pörgekarúak
láncreakció 467, 474
Land, Michael 487 [71]
lándzsahal *(Branchiostoma)* 298, 302–305, 306, 348–349, 350
Langton, Christopher 500
lapátorrú tok *(Polyodon spathula)* 200–201, 201
laposférgek *lásd* férgek, laposférgek, bélüreg nélküli laposférgek
laposmellűek *(Struthioniformes)* 235–241
lárvaállapot 247, 263–267,

306–309, 330, 342, 343, 344, 346–347, 350, 360, 383, 490
planula lárva 398
trochophora lárva 317–318
Larvacea *(Appendicularia)* 308
Lascaux-barlang 34, 35
latin nevek *lásd* kéttagú név
Laufberger, Vilém 87, 266 [240]
Laurázsia 143, 162, 185, 190, 194, 237
laurázsiaiak *(Laurasiatheria)* 143, 150, 162–164, 165, 185, 194
lazac 410, 411
Leakey, Louis 68
Leakey, Mary 78 [168]
Leakey, Meave 78 [169]
Leakey, Richard 63 [171]; 68 [170]; 208 [172]
legnagyobb valószínűség *lásd* valószínűség-számítás
legutóbbi közös ős
a géné 44, 46–47
a genealógiáé 39, 40, 42
mitokondriális *lásd* Éva, mitokondriális
Y-kromoszóma *lásd* Ádám, Y-kromoszómás
légzés, aerob és anaerob 381, 441, 492
lemeztektonika 140, 236, 242–245, 392–393, 483
Lehrer, Tom 495
lek 172
lemming 152, 154
leopárd 26, 81, 337
lepényhal 291, 291
lepényhal 277, 291
lepényhalak *(Pleuronectidae)* 291
Levinton, J. S. 367 [319]
Lewin, Roger 208 [172]
Lewis-Williams, David 34 [173]
Lewontin, R. C. 338, 339, 340 [174]
Liem, Karel F. 500 [175]
lignin 439, 440
Limulus *lásd* törfarkú rák
Lingula 268, 269, 321
Linné, Carolus 96 [140]
lisztérzékenység 33
Lithornis 237
litoptern 164, 180
ló 140, 162, 164, 174, 180, 190, 251
Lobopodia 318, 363, 364, 371
logaritmus
kettes alapú logaritmus 40
logaritmusskála 70–73
lokus 44, 47, 129, 337, 375
Lophoporata 317, 321
Lophotrochozoa 317, 318, 319, 320–321, 363, 382
Lorenz, Konrad 30, 267 [178]; 342
Lorenz-féle ampulla 201
lóri *(Loridae)* 107, 136, 139
Lovejoy, Owen 82 [179]
lövőhal *(Toxotidae)* 490, 491
Luce, R. 479 [275]
Lucy *(Australopithecus afarensis)* 56, 63, 69, 78, 78, 84, 92
Lufengpithecus 99, 102
Lyell, Charles 393, 485
macska 26, 106, 134, 140, 162, 179, 259
Madagaszkár 136, 139, 140–143, 134, 235–241, 484, 486
madarak
a dinoszauruszokhoz tűződő kapcsolataik 214
színlátásuk 126
valódi kládjellegük 209
Maddison, David R. és Wayne P. 209
„MADS boksz" gének **350**
magzatburkosok *(Amniota)* 246, 247, 249, 250, 508
mahagóni erszényesmókus *(Petaurus gracilis)* 192
majmok, farkatlan 106
majmok, óvilági *(Cercopithecidae)* 75, 102, 118–121
színlátásuk 126–127, 131 [86]
majmok, újvilági *(Platyrrhini)* 121, 122, 124, 125
színlátásuk 129–131 [86]
majomkenyérfa *(Adansonia)* 141, 142
makakó 118
berbermakakó *(Macaca sylvanus)* 96, 106
„celebes-emberszabású" *(Macaca nigra)* 106
disznófarkú *(Macaca nemestrina)* 107
hosszúfarkú *(Macaca fascicularis)* 107
maki 80, 106, 129, 136–142, 148, 194, 484
gyűrűsfarkú *(Lemur catta)* 142
koalamakik *(Megaladapis)* 106
lajhármaki *(Paleopropithecidae)* 106
Archeoindris 142
törpe egérmaki *(Microcebus myoxinus)* 142
lásd még véznaujjú maki, indri, repülőmaki
makkférgek *(Enteropneusta)* 310, 324–5, 349
makroevolúció *lásd* evolúció
makromutáció *lásd* mutáció
Malawi-tó 282–287
mamut 23, 59, 185
Man-szigeti macska 106
manátusz *(Trichechus)* 167, 171, 182, 187
Manger, Paul 198 [181, 225]
manguszta *(Herpestidae)* 141, 162
„manna" 330
mara (Dolichotis) 154
Margulis, Lynn 441, 442, 447 [183]
Mark Welch, David 353, 355–356, 358 [184]
Martin, Robert 70, 74 [185]
Mash, Robert 217 [186]
második világháború 130, 330, 388, 495
maszáj 32
masztodon 185
Mauritius 231, 232, 284
May, Robert 317
Maynard Smith, John 352, 353 [188]; 357 [187]; 475, 503 [189]
Mayr, Ernst 259 [190]
McGavin, George 490, 491
Mead, Margaret 93
Medawar, Peter 469
medúza 371, 382, 383, 386, 388–390, 489
kockamedúza *(Cubozoa)* 385
Mastigias 389, **389**
tüskéjük 384
„Medúza-tó" 389
medve 106, 162, 167
megkövült erdő 64, 65, 427
megkülönböztetés, faji és nemi 340
méh 127, 263, 489, 493
méhlepényes emlősök 182, 190, 192, **193**, 378
méhlepény 188
színlátásuk 296
meiózis 355 *lásd még* rekombináció, szexuális
melegvérű szervezetek *(homeothermák)* 110, 376, 423, 424
mém 76, 229–230
Mendel, Gregor 334
menstruáció 121
menyét 162
mérges fullánk 203, 297, 384, 489, 490
Meselson, Matthew 353, 355–356, 358 [184]
Mesomycetozoea lásd DRIP-ek
Mesonychida 167–168
mesterséges szelekció 29, 30, 33, 218, 423
mészkő 63, 64, 391, 469
Metazoa 298, 367, 371, 400, 401, 403, 404, 407–409, 417
meteoritbecsapódás 144–146, 208, 483
mexikói barlangi vaklazac *(Astyanax mexicanus)* 288–290 [324]; 288
Meyer, Axel 271 [295]; 286 [142]
mézharmat 330
mézmadár 222
mezoderma 383
mezőgazdaság *lásd* domesztikáció, mezőgazdasági forradalom
mezőgazdasági forradalom 27, 28–34, 152
mezozoikum 18, 295
meztelenség *lásd* szőrtelenség, evolúciója; ruhák, feltalálása
micélium *lásd* gombák: gombaszövedék
mikroba *lásd* mikroorganizmus
mikroorganizmus 13, 33, 395, 418, 423, 434, 439, 440, 441, 460–461, 469
Miller, Geoffrey 76, 223, 228, 229 [194]
Miller, Kenneth 457 [196]; 458 [195]
Miller, S. L. 469 [11]
miocén kor 18, 98, 99, 103, 104, 191, 223, 292
mitokondrium 48, 49, 58, 395, 436, 445, 447 *lásd* még DNS: mitokondriális
mitózis 355
Mixotricha paradoxa 438, 439, 441–444, 441, 445
moa *(Dinornis)* 235–236, 236, 239, 240
modularitás 347–348, 502
Moi, Daniel Arap 333, 334
mókus *(Sciuridae)* 106, 154
Glaucomys volans 192
repülő *(Petromyinae)* 148, 154, 192, **193**
Molefe, Nkwane 79 [48]
molekuláris óra 25–26, 271, 366–367, 370, 372–378 [33]; 378–379 [112]
molekuláris taxonómia 317–318
Mollon, John 130–131 [86, 200]
molnárpoloska 326
monito del monte (egéropposszum) *(Dromiciops)* 180, 191
Monod, Jacques 457 [201]
monofiletikus csoport 162, 446 *lásd még* klád, fogalma
monogámia 95, 174, 177
Morgan, Elaine 82 [204]
Morgan, Lloyd 167
Morganucodon 196
mormota 154
Mormyridea 202
Morris, Desmon 107, 224, 227d
moszatok 364, 388, 391, 415, 446–447

barnamoszatok *412*, 419, 438,
Dinoflagelláták 437
Fucus 438–439
Tetraselmis convolutae 382
Volvox 408
vörösmoszatok *(Rhodophyta)* 379, 419
Zooxanthellae 391, 392
zöldmoszatok 419
Motsumi, Stephen 79 [48]
Mózes 330
multiregionális („külön eredet") elmélet 51
Multituberculata 196
Murdock, G. P. 175 [206]
Muridae 26
mutáció
aránya 48, 374 *lásd még* molekuláris óra
általi elfajzás (hibakatasztrófa) 474–475
áthelyeződés 131
farkatlanság felé vezető *106*
génmanipulált 33
homeotikus 344, 347, 350
leány-világegyetemeké 9
makromutáció 368–370, 498
rögzülése 374–377
semleges 110, 373–379
szinonim 377 *lásd még* mutáció: semleges
Mutke, Hans Guido 494
Myllokunmingia 298, 365, 366, 366 [264]
Myriapoda (soklábúak) 318
Nagy Amerikai Kicserélődés 154, 179–180, 288
Nagy Emberszabású projekt 97
nagyorrú majom *(Nasalis larvatus)* 118
Nagy Pestis 152
Nagy Ugrás 27, 34–35, 229
Nagy-korallzátony 384, 390–391
nanotechnológia 456, 457
naphal *(Mola mola)* 277, 277
Nautilus 320, 487
Neander-völgy 23, 56, 57, 58, 60
DNS 23, 58 [161]
Necrolestes 191
nedvszívó 330
Nematocyst *lásd* csalánsejt
Nemertodermatida 382
neogén időszak 18, 118
Neomura 448, 449, 450
neoténia 86, 265, 308
Nesomyinae 141
Nesse, Randolph 401 [210]
nitrogénmegkötés 446, 459
Nomascus lásd gibbon
Norman, David 217 [213]
nosztratikus 24
notokord 297, 298, 299, 302, 307
növény 412, 418–421, 437, 508
baktériumok beépítése színtestként 446–447
életmód 418–419
homeobox génjeik 350, 351
legrégibb kövületek 379 [38]
a szárazföld benépesítése 272
virágzás *(angiospermák)* 148, 188 *lásd még* moszatok
nukleáris elrettentés 124
nyálkahal *(Myxini)* 150, 295, 296, 297, 299, 301, 366
nyelv
eredete 35, 489, 493
nyelvi zűrzavar 61
Nyerere, Julius 283
nyulak *(Leporidae)* 26, 140, 152, 186
Obdurodon 195
óceáni áramlások 122, 240
Golf-áramlás 240
Ohta, Tomoko 374, 377 [215]
ökológiai rendszer 282, 475 *lásd még* közösség
ökológiai tér 391–392
olajmadár *(Steatornis caripensis)* 488
oldalszimmetria 323
oligocén korszak 18, 118
Omomyidae 135
önbetöltő módszer 114–116
Onychophora (bársonyféreg) 318, 363, 371
Peripatopsis moseleyi 363, **363**
Peripatus 318, 363, 364
Opabinia 364, 364
Oparin, A. I. 468, 469, 470 [216]
oposszum *(Didelphidae)* 125, 180, 190, 191
oposszum, csíkos- *(Dactylopsila trivirgata)* 140, 193
oposszum, méz- *(Tarsipes rostratus)* 126, 192
opszinok 129–133
orangután *(Pongo)* 80, 91, 93, 96, 98, 101, 102, 150, 177, 227
ordovícium 18, 274, 293, 366
Oreopithecus 99, 102
Orgel, Leslie 456 [56]; 470 [217]; 478–479 [250]
óriáskagyló *(Tridacna)* 320
Ornithischia lásd dinoszauruszok
öröklődés 464, 466–479
oroszlán 26, 162, 277, 332
Orrorin tugenensis 84, 85, 86, 87, 228
Orsten 364
őscetek 166, 166, 167–168
ősi Homo sapiens 56–58, 59, 62, 94
összájúak 313, 314–317, 321, 322, 324–325, 382
összetettség (bonyolultság)
nem egyszerűsíthető bonyolultság 456–459
Osteolepiformes (csontospikkelyesek) 251
ostor *(flagellum)*
bakteriális 454, 457–458
eukarióta 400, 405, 406, 442, **442**, 444, *454*
ostorosok *(Flagellata)* 407, 408, 417, 439, 442
Ostracoderm (csontbőrű) 296, 297
osztriga 320
Ouranopithecus 98, 99, 102, 103
Owen, Richard 74, 95, 167, 236, 236
oxigén 81, 256, 268, 279–280, 299, 390, 423, 441, 446, 447, 468, 482, 483, 492
páfrányfenyő *(ginkgo)* 196
Pagel, Mark 225–226 [218]
Pakicetus 166, 168
paleocén korszak 18, 134, 166, 167, 237
paleogén időszak 18, 118, 144, 208, 244
paleolit lásd Nagy Ugrás
paleomagnetizmus 245, 427–428, 428
paleozoikum 18, 294, 296, 318, 321
pálcikasejtek 128
pálmafa 142
Pan paniscus *lásd* bonobó
Pan troglodytes *lásd* csimpánz
Panama-földnyelv 53, 154, 179, 288
páncél 276, 296–297, 318, 360, 371, 495
panda, óriás 162
Panderichthys 251
Pangea 194, 207, 246
pánspermia, irányított 457, 458
papagáj
kakapó (bagolypapagáj – *Strigops habroptilus*) 234
Lophopsittacus mauritianus 234
Parabasilia 443
paradicsommadár 223, 223, 224
parafiletikus csoport 121, 209
ParaHox 350, 351 [92]
Paramecium 443
Paranthropus 77
parazita 28, 152, 263, 297, 313, 321, 360, 410–411, 439, 443, 477, 496
gének, fenotipikus kifejeződése gazdaszervezetekben 161
parazita elemek a DNS-ben 110, 131, 133
a szex feltalálása az ellenük való küzdelemben 358
a szörtelenség kialakulása az ektoparazitáktól való megszabadulás érdekében 225–226
Parazoa" 400
párduc", fekete *(Panthera pardus)* 337
parenchyma 381
Parker, Andrew 368–369 [220]
parlament, géneké 48, 52
párosujjú patások 165, 168, 169–170, 171 *lásd még* patások: *Cetartiodactyla*
Pasteur, Louis 79, 465
pásztorkodás 28, 29, 31, 32
patagium 148, 149
patások 164, 178, 180
párosujjú *(Cetartiodactyla)* 164, 165–166
páratlanujjú *(Perissodactyla)* 164
patások *lásd* Ungulata
patkány 152, 154
Pauling, Linus 373 [327]
páva 222, 222, 223, 224, 225
pávián *(Papio)* 80, 82, 96, 118
Pax (ideértve a Pax6-ot is) 324, 351
pedicellaria (csíptető) 313
pedomorfózis 265–267
pekari 179
pekingi ember *lásd* Ergaszter
Pelycosaurida 212–213
Penfield agytérképe 198, 198 [222]
Penicillium *lásd* gombák
periódusos táblázat 9
Periphthalmus lásd kúszógéb
Perissodactyla 162, 165
perm időszak 18, 145, 207, 211, 213, 268
Petauridae lásd mahagóni erszényesmókus, oposszum, csíkoserszényes, cukros erszényesmókus)
Pettigrew, Jack 198, 200, 205 [181, 225]
Phalangeridae 192
Phanerozoikum 18, 362
Phorusrachidae 235, 236
Physalia 386, 387
Pickford, Martin 84, 85 [259
pigmeusok 97
Pikaia 298, 365
pikkelyes hangyász *lásd* tobzoska
pillangó 31, 263, 264
pingvin, császár *(Aptenodytes forsteri)* 357
Pinker, Steven 11, 82 [227]; 35, 60 [226]
Pithecanthropus lásd Ergaszter

pinty, galápagosi 220–222, 220, 283, 501 [111]
Placodermata 296
plankton 263, 307, 308, 350, 388
Platyrrhini lásd majmok, újvilági
Platyzoa 318, 321
pleiotropizmus 61
Ples asszonyság 77–78
Plesiadapiformes 136
Plesianthropus 77
Plesiosaurusok 207, 214, 217
Plinius, idősebb 96
Plinius, ifjabb 21
pliocén korszak 18, 88, 244
pliopithecidák 104
pocoknyulak *(Ochotonidae)* 26, 152
pók 162, 277, 280, 317, 318, 489
bola *(Mastophora)* 490
búvárharang *(Argyroneta aquatica)* 490–491
csupaszpókok *(Scytodidae)* 490
pókmajom *(Ateles)* 106, 107, 125
polaritás (a Föld mágneses mezejéé) 245, 427
poliandria 174
poliginia 106, 172, 175, 177
polimeráz láncreakció 460
polimorfizmus
AB0 vércsoportok 54–55
gyakoriságfüggő szelekció 130
a heterozigótaság előnye 130–131
transzspecifikus 55
vörös és zöld opszin gének az újvilági majmokban 130
polip 320, 489
polipkorall *lásd még* korall
politómia 108, 150
Polo, Marco 235
poloska *(Hemiptera)* 326
populáció/népesség 28, 51
alapító 142, 284
hím–nő arány 171–172
méretének hatása a mutáció rögzülésének gyorsaságára 377
szétválása 283–284, 336
lásd még fajkialakulás, hibridizáció
pore 293, 296, 299, 347
porcos halak *lásd* halak, cápa, rája
pörgekarúak 268, 269, 317, 320–321, 321, 364, 365
Porpita 387, 387
portugál gálya *lásd Physalia*
pottó *(Perodicticus)* 107, 136, 139
Powell, Colin 333, 333, 334, 334, 335
preadaptáció 82, 82, 249, 500
prekambrium 18, 310, 379, 380
Proboscidea (ormányosok) 185, 186
Amebelodon 186, **186**
Deinotherium 186
lásd még elefánt, mamut, masztodon
Proconsul 98, 99; 121 [300]
progenezis 265
prokarióta 436, 448, 449
Proterostomia (ősszájúak) 314–322, 329, 371, 348, 380, 508
proterozoikum 18, 380
Protochordata (előgerinchúrosok) 298, 302, 310
protozoa 145, 350, 351, 403, 409, 441, 445, 460
Pterobranchia 310
Pterodactylus lásd szárnyasgyík
Pterosaurus 217, 489
Pullman, Philip 455 [229]
púposlégy-félék *(Phoridea)* 361
Megaselia scalaris 361, **361**
Thaumatoxenia andreinii 361, **361**
Pusey, Harold 139, 209
Pyrotheres 180
Qâ vírus 477–479
Rackham, Arthur 140
Radiata 382, 383 *lásd még* bordásmedúzák, csalánozók
radioaktivitás 19, 430–433
Radiolária 437, 438
radiometrikus kormeghatározás 430–433
szénizotópos kormeghatározás 285, 432–433
ragadozó életmód *lásd még* fegyverkezési verseny
rágcsálók *(Rodentia)* 26, 122, 141, 152–154, 162, 178–179, 190, 271, 376
rája *(Rajidae)* 291, 291, 294
rája
elektromos *(Torpedo)* 202
ördögrája *(Manta birostis)* 292, **292**
rákfélék *(Crustacea)* 197, 317, 323, 328, 360, 364, 388, 411
rákok 263, 320, 360
édesvízi 411
japán tengeripók *(Macrocheira kaempferi) 318*
„szamurájrák" 31
Ramapithecus lásd Sivapithecus
rassz/fajta 51, 157, 257, 331–343
rasszizmus 96, 97, 336
rátermettség 42–43, 225
Reader, John 20 [232]; 82 [233]
Reagan, Ronlad 425
Rebek, Julius 474 [234]
receptanalógia 155, 344
recesszív 45, 47, 334
Rees, Martin 9 [235]
rekombináció, szexuális 48, 52, 132, 356, 358
rendellenesség, genetikai 61, 343, 344, 347, *lásd még* mutáció
rendszertan *lásd még* taxonómia
replikátor 467–479, 503
repülés 353, 489
lásd még röpképtelen madarak
repülőmaki *(Dermoptera)* 148–151, 150
repülőmókus 148, 192
repülőmókus *lásd* cukros erszényesmókus, mahagóni erszényesmókus
retinális 128
Rheidae 236, 238, 239, 240
Rhizaria 437
Rhizobium 454, 456, 459
Rhodophyta lásd moszatok: vörösmoszatok
riboszóma 461–462, 472–473, 477
ribozim 477
Rickettsia 447
Ridley, Mark 132, 474, 486 [241]; 177 [239]
Ridley, Matt 155, 474 [243]; 358 [242]
Rift-völgy 84, 91–92, 182, 255, 282
RNS
hírvivő RNS (mRNS) 472, 473, 477
mint a DNS-replikátor előfutára 470, 474–479, 503
riboszomális RNS (rRNS) 399, 462
szállító RNS (tRNS) 473, **476**
vírus 477
robbanás (Nagy Durr Modell) (az emlősök kirajzása a K/T-t követően) 146–147
rodriguezi remete *(Pezophaps solitaria)* 232, 233, 234
rok, madár 235, 236, 241
Romer, Alfred Sherwood 251, 280
Roos, Christian 115 [246]
röpképtelen madarak 231–234
rovarevők *(Insectivora)* 162, 164, 191
rovarok 16, 188, 208, 280, 283, 317, 318, 330, 342, 345–346, 348, 353, 387, 423, 487
evolúciójuk kézenfekvő jellege 492–493
lárvaállapotuk 263, *344*
sikerük 317
Rowntree, V. J. 81 [282]
rozmár 162, 165
ruházat, feltalálása 225, 226 [158]
Rumsfeld, Donald 333,333
Russell, Bertrand 362, 458
Sacks, Oliver 132 [249]
Sahelanthropus tschadensis lásd Toumai
sakál 30, 162
sárkányok, tűzokádók 20 [101]
Salzburger, Walter 286 [295]
Sarcopterygii (izmosúszójú halak) 268
sarki jégsapka 214, 246, 274
sáska 331–332, 335, 336, 346
európai *(Chorthippus brunneus, C. biguttulus)* 331–332 [223, 19]; 336
sarlósejtes vérszegénység 130
Saurischia lásd dinoszaurusz
Sauropsida 207, 214, 378
Savage, dr. Thomas 96, 97 [140]
Schierwater, B. 398 [278]
Schluter, Dolph 282 [253]
Schopf, J. W. 13 [255]
Schuster, Peter 475 [90]
Seehausen, Ole 283–284 [258]
sejt *lásd még* eukarióta, prokarióta
csírasejt és szomatikus sejt 400–401, 504
első 470
az eukarióta eredete 445–447, 503
mint baktériumok közössége 395
rákos 400
totipotens 400, 401
semleges elmélet 374–377 [152]
Senut, Brigitte 84, 85 [259]
Sequoia 425
Shakespeare, William 24
Shapiro, L. H. 367 [319]
Sheets-Johnstone, Maxine 81 [262]
Short, Roger 176 [129]
Simonyi, Charles 107
Simpson, C. G. 179, 180 [266]
Sinanthropus lásd Ergaszter
Singer, Peter 97
Siphonophora 386–387 *lásd még Physalia*
sirály
éjszakai, galápagosi fecskefarkú *(Creagrus furcatus) 134*
hering *(Larus argentatus) lásd* fajkialakulás: gyűrűfajok
kisebb feketehátú *(Larus fuscus) lásd* fajkialakulás: gyűrűfajok
Sirius Passet 364, 370
Sivapithecus 98, 102
skorpió 317, 318, 489
Slack, Jonathan 352 [267]
Smith, David 445 [268]
Smith, J. L. B. 273
Smolin, Lee 9, 10 [269]
Snocks, Jos 286 [295]

soksejtűség 362, 399, 400, 401, 403, 404–405, 406–409, 412, 416–417, 438, 503
Southwood, Richard 391 [270]
Spalding, Douglas 167 [122]
Spiegelman szörnyetege 478, 479
Spiegelman, Sol 477–479 [197, 250]
Spirochaeta 442–444, 443, 447
spontán nemzés 360, 465
SRY 117
St Hilaire, Geoffroy 325 [219]
Stebbins, Robert 252 [298]
Steller tengeri tehene *(Hydrodamalis gigas)* 187
Stewart, Caro-Beth 99–103
Strepsirhini 136, 139, 142
Stringer, Christopher 56 [274]
strucc 80, 235, 236, 240, 241, 266–267
sugarasúszójú halak 269, 271, 291
  lásd még csontoshalak
sugárhajtás 320, 489
sügér
  kúszó *(Anabas testudineus)* 280
  nílusi *(Lates niloticus) 282*
Sumper, M. 479 [275]
sündisznó 106, 142, 162, 164
sűrűségi fokozat 345
Sutherland, J. L. 441, 442, 443 [276]
Swift, Jonathan 444 [277]
Syed, T. 398 [278]
szabadság, csökkenése 9
száj 297, 312, 314, 322, 349, 381, 384, 386, 397
szakaszos egyensúly 199
szakaszos elme 252, 255–259, 334
szalamandra *(Urodela)*
  axolotl *(Ambystoma mexicanum)* 87, 265, **265**, 266
  Ensatina 252–254 *lásd még* gyűrűfajok
  gőte 246–247, 250, 265–266
  tigrisszalamandra *(Ambystoma tigrinum)* 265
szalonkacsőrű angolna lásd angolna
számítógépes eszköztár hasonlat a gén analógiájaként 156
szaporodás
  ivaros 352–359, 395, 503
    hím/nős megoszlás 504–505
    izogámia 504
  ivartalan 352–359
    vegetatív 386, 504
szaporodási elszigetelő meg-nyilvánulások *283*
szaporodási siker 49, 233
szárazföld, benépesítése az állatok által 250–251, 280
szárazföldi növények, korai *lásd* benépesülés
szárnyasgyík 214, 488
Szász-Coburg, királyi ház 45, 46, 47
Szathmáry, Eörs 503 [189]
százlábú *(Chilopoda)* 164, 317, 318, 320, 324, 489
szelekció *lásd* természetes, szexuális, klád, mesterséges
szelvényesedés 317, 345, 351, 360, 502
szem 323–324, 351
  elvesztése barlanglakóknál 288–290
  független evolúciója 323, 486–487, **486**
  sokfélesége 487, **487**
  lásd még színlátás
„szemnélküliség" 323
szén 212, 214, 468, 469
szénizotópos kormeghatározás *lásd* radiometrikus kor-meghatározás
szennyezettség-metafora" 334
szerotonin 30
szétszóródás *lásd* tutajozás, benépesítés
szexkorlátozta gének 173
szexuális szelekció 172, 222–230
sziamang lásd gibbon
sziámi harcoshal *(Betta splendens)* 279
„szigetek", amelyek lehetővé teszik az evolúciós eltéréseket lásd Afrika, Ausztrália, Laurázsia, Madagaszkár, Új-Zéland, Dél-Amerikaszigetugrás 122, 190, 234, 239, 249
szilur időszak 18, 268, 272, 274
szimbiózis 330, 382, 391, 395, 415, 440–444, 445–447, 455, 459, 436
szimmetria
  kétoldali 311, 312, 321–323, 349, 381, 382–383, 408
  sugaras 310, 312, 322, 325, 349, 350, 382–383, 384, 397, 408
szimpatrikus fajkialakulás *lásd* fajkialakulás
szincícium 408, 412
Szindbád 235, 236
színlátás 125–133
színtest 395, 445–447
színvakság 126, 129, 130, 132
színváltás 320
szirének 187 *lásd még* dugong, manátusz, Steller tengeri tehene
szitakötő 318
szivacs 349, 350, 364, 371, 391, 399, 400–405, **405**, 406, 508
  üvegszivacs *(Euplectella aspergillum)* 403, **403**
Szivárványbontás 23, 76, 362, 367, 368 [72]
szkink *(Scincidae)* 125, 214
szkunk *(Mephitinae)* 140, 193
szociobiológia 44, 387
szonár 164, 388
szőrös béka 135
szőrtelenség, evolúciója 59, 223–226
szuperpozíció törvénye 17
Tacitus 21
takarékosság 101–103, 112–113, 114, 115, 116, 286
alálkozások, fogalma 12
Tamm, S. L. 444 [280]
táncoló szifaka *(Propithecus verreauxi)* 80, 142
Tanganyika-tó 282–287
tapetum lucidum 134–135
tapintás 198, 204–206
tápláléklánc 145, 274, 294, 418, 433, 480
tTaq *lásd Thermus aquaticus*
tarajos gőte *lásd* szalamandra
Tardigrada (medveállatka) 318, 319, 465
tartomány" 461, 461, 462 [316]
tasmaniai farkas (vagy tigris) *lásd Thylacinus*
tasmaniai mészárlások 39, 40
tatu *(Dasypodidae)* 74, 178–181
Tatum, E. L. 415
taungi fiú 10
taxonómia 26, 30, 110, 112, 114, 150–151, 317–318, 332, 442, 450, 460–463
Taylor, C. R. 81 [282]
tehén 29, 165, 168, 171
teknős 126, 169, 207, 214, 490
Teleost (csontos halak) 209, 252, 274–280, 294
telep (kolónia) 386–387, 404, 406, 407, 409, 415, 440, 503
  hangya 330
  galléros ostoros 407–409
  polip 386–387
  lásd még közösség
Telicomys 154
Templeton, Alan 52–54, 58, 354–355 [284]
tengerfenék szétcsúszása 263, 349, 350
tengeri csillag *(Asteroidea)* 310, 312–313, 313, 350, 382, 480
tengeri elefánt *lásd* tengeri tehén, manáti
tengeri moszat *lásd még* moszatok
tengerililiomok *lásd Crinoidea*
tengeriskorpió *lásd Eurypterida*
tengerisün 267, 306–309, 306, 307, 349
tengeri szívsünök 312
tengerirózsák 371, 382, 383, 384–385, 386, 389, 407
tengeriuborka *(Holothuroidea)* 310, 312, 312
tenrek 142, 147, 162, 182, 187
  farkatlan *(Tenrec ecaudatus)* 106
Teredo (hajóférceg) 320
teremtéshívők 49, 65
termeszek *(Isoptera)* 29, 361, 395, 439–441, 444, 503
  „Darwin termeszei" *(Mastotermes darwiniensis)* 439, 440, 441
  együttműködésük 440
  gombakertészetük 330
  mikroorganizmusok a bélcsatornájukban 395, 441–444
természetes szelekció
  alsó szinten a harmonikus egész illúzióját keltő 395
  egyedüli magyarázat az élőlények funkcionális szépségére és látszólag „megtervezett" összetettségére 374
  a felhalmozódó természetes evolúció hatalma 479
termodinamika második fő tétele 289–290
termofil (hőkedvelő) 449, 459–460, 479–481
territórium, védelme 454
testtömeg 70, 73, 76, 176, 422, 424
testüreg *lásd* cölóma
Tethys-óceán 237
Tetrapoda 246, 250, 251, 269, 280
Teuber, H. L. 341
tetű 225, 226
teve 31, 162, 168, 180, 185, 190
Therapsida 211–213
Thermus aquaticus 459, 460, 463
Thomson, Keith 272, 273 [285]
Thrinaxodon 211
Thylacinus 192, 193
tífusz 152, 226, 447
Tiger, Lionel 335
tigris 26, 332
tinamu *(Tinamiformes)* 237
Tinbergen, Niko 328 [163]
tinman 351
tintahal 320
  gyengeszemű drágakő tintahal *(Histioteuthis miranda)* 323
  óriás *(Architeuthis dux)* 134
tiszavirág 263
tisztítóhalak 393–394, 394
Tobias, Phillip 61, 79
tobzoskák *(Pholidota)* 125, 162, 164, 178

tojásrakó emlősök 191, 194–197, 207
tok *(Semionotiformes)* 279
tokhal *(Acipenseridae)* 200, 274, 296
tollkorallok *(Pennatulacea)* 371
tömeges kihalás lásd kihalás
törfarkú rák *(Limulus)* 268, 269, 318, 349
torinói lepel 433
törpecsimpánz *lásd* bonobó
törpe selyemmajom *(Callithrix pygmea)* 125
Toumai *(Sahelanthropus tschadensis)* 85, 85, 86, 87, 92, 228
Toxodon 181
Tradescant, John 232
triász időszak 18, 207–208, 211, 213
Triceratops 214
Trichomonas 439
Trichoplax 383, 398–399, 400
trichotómia 108, 437
trichromatikus látás *lásd* színlátás
trilobita (!) 208, 318, 364, 487
aszimmetrikus harapásnyomok 323
a legnagyobb, *Isotelus rex 318*
a *Reedocalymene* lehetséges elektromos érzékelése 202
szem **487**
triok *(Dactylopsila)* 140, 193
triploblasztia (három sejtrétegűség) 383
Triticum 33
Trivers, Robert L. 82 [69]; 172 [286]
Truganinni 39, 50
Trypanosoma 439
tuatara *(Sphenodon punctatus)* 214
Tudge, Colin 28 [288]; 150 [289]
tudományos név lásd kettős név
tüdő 268, 278, 279, 381, 423
tüdős halak *(Dipnoi)* 11, 251, 268–271
tulajdonságeltolódás 263
Tulerpeton 250
Tupaiidae lásd cickány: mókuscickány
Turkana Fiú 60, 63, 63
Turkana-tó 60, 78
Turnip, Townshend 29
Turvey, Sam 202, 232, 249, 323
tutajospoloska 326
tutajozás
a madagaszkári rágcsálóké, Indiából Madagaszkárra, majd Afrikába 142–143
az orrtükrös félmajmoké Afrikából Madagaszkárra 141
az újvilági majmok és a *histricognatha* rágcsálóké Afrikából Dél-Amerikába 122
a zöld iguána tutajozásának megfigyelése 124 [44]
tüskésbőrűek 310-313, 508
tűz/élet 466–467
tűzhasználat 60, 226, 491
Twain, Mark 8, 498
Tyrannosaurus 69, 214
Tyson, Edward 97 [140]
ugróegér 193
ugrónyulak *(Pedetidae)* 154, 193
Új-Guinea 28, 139, 148, 190–193, 194, 233, 234, 236, 237
Újszövetség 21
Új-Zéland 190, 234, 236, 237, 239, 240, 484
új-zélandi ferdecsőrű lile *(Anarhynchus frontalis)* 323
üledékes kőzet 17, 244, 427, 432
ultrabithorax 346, 347
ultraibolya-látás 127
Urey, H. C. 469 [11]
úszóhólyag 278–279, 293, 387
úszóképesség 278–279, 293
utánzás 226–228, 229 *lásd még* mém
utánzás 330
útszűkület (populációs) 51-52, 54, 337
útszűkület hatás (életciklus) 504-505
vacuola 416
vadászó-gyűjtögetők 28–29, 34, 330
„vakondocska" 205, 205 [41]
vakondok 164–165
arany- *(Chrysochloridae)* 182, 187, **193**
csillagorrú *(Condylura cristata)* 204–206, **204**
eurázsiai *(Talpidae)* 106, 154, 191
vakondpatkány (szárnyasállú rágcsálók) *(Bathyergidae)* 152–154
valabi 126, 193
vallás 106, 336, 342, 343
valószínűség-számítás 114
bayesianus módszer 114, 116
legnagyobb valószínűség 114, 116, *271*, 286, 377
változatosság, az életé 459–463, 465
van Alphen, Jacques 283–284 [258]
vándorlás
az emberszabásúaké Afrika és Ázsia között 99–103
kifelé Afrikából 51–54
a medúzáké 389–390
a planktoné 388
varangy *lásd* békák és varangyok
variáció, genetikai *lásd még* mutáció
váz 60, 164, 192, 201, 280, 296, 318, 391, 403, 490
végbélnyílás 195, 299, 302, 312,314,381, 382, 384
Velella 387
véletlen 465, 479
véletlenszerű változás 9, 23, 289, 370
vendégízületesek *(Xenarthra)* 74
Venter, Craig 36, 461
Vénusz-öv *(Cestum veneris)* 396, 397
vér 168, 188, 297, 299, 312, 423
vércsoportok 54-55
verbális diszpraxia 61
Verheyen, Erik 286 [295]
veszélyeztetett fajok lásd vékonyujjú maki, dugong, indri, kihalás
véznaujjú maki *(Daubentonia madagascariensis)* 139, 140, 140, 143
Victoriapithecus 118
vidra, tengeri *(Enhydra lutris)* 167, 326
Viktória királynő 46, 47
Viktória-tó 84, 118, 281–287
vikunya *(Vicugna vicugna)* 180
vipera, gödrös *(Crotalidae)* 127
vírus 54, 229, 257, 476, 477–479, 501
viselkedés, változások *lásd* evolúció, Baldwin-hatás
vitamin, A 128
vitamin, D 341
'vitorlás Jack' lásd Vellelaviziló 141, 162, 165–171, 165
vízimajom-elmélet 82 [204]
Voltaire 121
vörösfenyő *(Sequoia)* 425, 425
vulkanikus hasadékok 448, 449, 459, 479, 480
vulkáni kőzet 63–64, 243–244, 245, 427, 431, 432 lásd még bazalt
vulkanikus szigetek 142, 219, 222, 232, 392, 393
vulkanikus tevékenység 142, 144, 242, 243, 483
Wake, David 252 [298]
Wallace, Alfred Russel 224, 465
Wallace-vonal 190
Ward, Lalla 182, 187
Warren, Nicky 12
Watson, James 476
Weber-csontocskák 279
Wegener, Alfred 242
Weinberg, Steven 9 [301]
Weiner, Jonathan 220, 221 [302]
Weismann, August 504
Wells, H. G. 336–337 [73]
Wesenberg-Lund, C. 353 [303]
West, Geoffrey 423 [304]
West-Eberhard, Mary Jane 501
Westoll, T. S. 268 [306]
Wheeler, John Archibald 481 [307]
White, Tim 56 [308]; 80 [309]
Wignall, P. B. 213 [125]
willendorfi Vénusz 34
Williams, George C. 352, 357 [311]; 401 [210]; 501 [312]
Wilson, E. O. 143, 222 [313]; 387
Wilson, H. V. 404 [314]
Woese, Carl 449, 461 [316]
Wolfe, Tom 227
Wolpert, Lewis 314 [317]; [318]
Wong, Yan 14, 39, 44, 58, 107, 125, 269, 373, 379, 422, 459
Wray, G. A. 366 [319]
Wright testvérek 494, 497
Wyman, Jeffries 97 [140]
Xenoturbella 310 [28]
Yeager, Chuck 494
Yeats, W. B. 292, 322 [321]
Zahavi, A. 225, 226 [323]
Zardoya, Rafael 271 [324]
zebra 140, 185
Zinjanthropus 77, 78
Zooxanthellae lásd moszatok
Zuckerkandl, Emile 373 [327]zsákszájú angolna *lásd* angolna *(Saccopharyngiformes)*
zuzmó 415
zsákszájú angolna *lásd* angolna
zsiráf 140, 185

A magyar fordítás az alábbi kiadás alapján készült: Richard Dawkins: The Ancestor's Tale
A Pilgrimage to the Dawn of Life • By Weidenfeld & Nicolson, The Orion Publishing Group, London, UK, 2004
Copyright © Richard Dawkins, 2004 • Hungarian translation © Kovács Lajos, 2005 • © Partvonal Könyvkiadó, 2006
Borítót tervezte Bóna Endre • Partvonal Könyvkiadó, Budapest, 2006 • www.partvonal.hu
Felelős kiadó a kiadó ügyvezetője • Kiadóvezető Nemes Dóra • Felelős szerkesztő Balázs Éva • Szerkesztette Teravágimov Péter
Nyomdai előkészítés Császár András • Tördelte a P.R.S. Bt., Budapest • Nyomta a Kinizsi Nyomda Kft., Debrecen
Felelős vezető Bördős János ügyvezető igazgató • Megjelent 52,47 (A/5) ív terjedelemben
ISBN 963 9644 08 0